



Avaliação do potencial de degradação do solo antes e depois de um grande incêndio florestal numa bacia elementar de Alfândega da Fé.

Rui Miguel Teixeira da Costa

Orientado por

Tomás d'Aquino Rosa de Figueiredo

Felícia Maria da Silva Fonseca

Bragança

Dezembro, 2015

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação teve o contributo de pessoas as quais não podia deixar de mencionar.

Ao Professor Doutor Tomás d’Aquino de Figueiredo, pelo seu empenho e orientação, pela sua amizade, simpatia, dedicação, disponibilidade, pela confiança que sempre me concedeu, ajuda e os grandes conhecimentos transmitidos em diversas matérias, que possibilitaram a concretização deste trabalho.

Um agradecimento sincero à Professora Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca pela simpatia, dedicação e apoio profissional durante as diversas fases deste trabalho.

Ao Engenheiro Lousada (pertencente à empresa Floponor) agradeço todas as informações relativas às obras de recuperação ocorridas no local de estudo. A câmara de Alfândega, a Engenheira Filipa e Corporação dos Bombeiros Voluntários o meu agradecimento pela disponibilidade e informação.

Sendo assim, agradeço a todos os docentes do Mestrado de Gestão de Recursos Florestais, da Escola Superior Agrária de Bragança, por todos os conhecimentos transmitidos e pelas novas experiências vividas, principalmente ao Sr. Arsénio pela ajuda na recolha de dados.

Por outro lado, e ao nível pessoal, agradeço a todas as pessoas que me acompanharam nestes longos meses ou mesmo anos de formação profissional. À minha família pelo apoio transmitido, mas principalmente aos meus pais e irmão pelos conselhos que sempre me deram quando necessitei. Aos meus amigos da Faculdade de Letras um muito obrigado pelos anos que passamos juntos e pelas horas que tiveram de me aturar, sendo eles, Ricardo Anjos, Sara Costa, Eugénia Mendes, João Ramos, João Ribeiro e por fim ao Miguel Pereira. No Instituto Politécnico de Bragança tenho um obrigado especial para a minha colega Rosário Franco por todas as ajudas que me ofereceu e pelas diversas competências transmitidas.

Não poderia de deixar passar em branco os grandes amigos de longa data, a eles agradeço por conseguirem aliviarem o *stress* sentido desta carreira estudantil e por toda a ajuda disponibilizada, no entanto tenho de referir principalmente o André Costa, que apesar de nem sequer saber que o nome será proferido nesta dissertação me ajudou imenso, tanto pelo seu companheirismo quer pela amizade disponibilizada nestes anos.

E por último à Sofia Martins, um MUITO OBRIGADO, pelo apoio e ajuda nas diferentes dificuldades sentidas neste caminho, pelos minutos horas ou dias passados a

incentivar-me para querer mais e mais e chegar ao nível em que me encontro hoje. Sei que escrevo pouco para o quanto me ajudas-te, mas sabes bem o quanto significas para mim e o quanto foste importante para o meu percurso académico.

A todos, o meu sincero, muito obrigado!!!

Dedicatória

Queridos pais, hoje é um dos dias mais importantes da minha vida, quem diria que o meu caminho tão rebusco enquanto jovem passaria por aqui, por uma vida estudantil e cheia de novas etapas para o futuro.

Hoje cumpro mais uma etapa a qual me comprometi cumprir, pois este é o dia da obtenção de grau de mestre e eu tenho muito ou mesmo tudo a agradecer a vocês. O meu caminho foi preparado por vocês, desde que nasci, para que este dia enfim chegasse.

Agradeço do fundo do coração todos os sacrifícios ao qual se submeteram por me conseguirem dar tudo àquilo que atingi e espero um dia vir a alcançar, um futuro cheio de portas abertas a nível profissional como pessoal. Eu devo tudo o que sou a vocês, e se sinto orgulho de mim e do lugar aonde cheguei, é porque sei que vocês me acompanharam nesta longa viagem.

Eu dedico este título que consegui a vocês. Obrigado meu pai e minha mãe! Sem Vocês, nada disto seria possível. Eu acordo todos os dias com a consciência que tenho os melhores pais que um filho poderia desejar ter.

Obrigado.

*“Tenha em mente que tudo que você aprende na escola é trabalho de muitas gerações.
Receba essa herança, honre-a, acrescente a ela e, um dia, fielmente, deposite-a nas mãos
de seus filhos.”*

Albert Einstein.

Resumo

Um incêndio florestal corresponde a um fogo incontrollado em florestas, matas e outros espaços com abundante vegetação (matos, áreas de incultos e áreas agrícolas). Os incêndios florestais são habituais nas áreas de clima mediterrânico, particularmente em dias quentes e secos, sobretudo quando se associa também o vento forte. Podem ser o resultado de causas naturais (trovoadas secas), mas, em regra, são devidos a negligência humana e, muitas vezes, a actos de natureza criminosa.

A expressão "grande incêndio florestal" é utilizada com diferentes significados, sendo, no entanto associada principalmente ao comportamento do fogo, às características e complexidades do combate e à extensão de área ardida.

O estudo de caso realizado neste trabalho tem como principal objetivo a avaliação da suscetibilidade à erosão após o efeito do fogo na degradação do solo, visando identificar as áreas mais críticas, para melhorar os sistemas de proteção já instalados no local e, assim, mitigar potenciais danos ambientais.

Para tal, aplicou-se uma metodologia que incluiu avaliações no terreno bem como o tratamento de variáveis espaciais, de forma a poder recolher os diferentes parâmetros de estimativa da erosividade das precipitações, da erodibilidade dos solos e da topografia, permitindo a elaboração de mapas de suscetibilidade, com distintos cenários de utilização do solo, antes e após incêndio.

O local do estudo foi numa pequena bacia elementar da freguesia da Ferradosa no concelho de Alfândega da Fé, ainda com marcas evidentes do grande incêndio de Picões, deflagrado no dia 8 de Julho de 2013, afetando uma área total de quase 15000 ha. Foram analisados os diferentes elementos da bacia, tanto as suas características biofísicas como morfológicas, sendo aplicado o modelo de erosão USLE (Equação Universal de Perda de Solo), com cinco diferentes fatores, com vista a estimar o risco potencial de degradação do solo para as condições anteriores e posteriores ao incêndio, neste caso com aplicação de várias medidas de proteção do solo nesta bacia. Para a aplicação do modelo recorreu-se a um modelo digital terreno (resolução de 5 metros), combinado com a integração de toda a informação espacial em Sistemas de Informação Geográfica.

Os resultados obtidos estimam uma severa perda potencial de solo após o incêndio, indicadora da importância da cobertura vegetal na redução da erosão hídrica. Sendo assim, é fundamental programar e implementar medidas de proteção do solo pós-fogo,

de forma a diminuir a probabilidade de ocorrência de severos danos ambientais nos recursos solo e água.

Além disso, seria importante nestas abordagens utilizar informação espacial atualizada, em particular a que integra o fator C e P (coberto vegetal e práticas de uso do solo), de modo a melhor estimar as taxas atuais de erosão hídrica.

Palavras-chave: Incêndios Florestais; Erosão do Solo; USLE (EUPS); Alfândega da Fé; Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Abstract

A forest fire corresponds to a controlled fire in forests, woodlands and other areas with abundant vegetation (woods, uncultivated areas and agricultural areas). Forest fires are common in areas of Mediterranean climate, particularly in hot, dry days, especially when it also associates the strong wind. May be the result of natural causes (dry thunderstorms), but as a rule are due to human negligence and often the criminal acts.

The term "large forest fire" is used with different meanings, and, though primarily related to fire behavior, the characteristics and complexities of combat and the extent of the burnt area.

The case study in this paper aims to assess the susceptibility to erosion after the effect of fire on soil degradation, to identify the most critical areas to improve protection systems already installed at the site and thereby mitigate potential environmental damage.

To do this, we applied a methodology which included on-site evaluations and the processing of spatial variables, so that you can collect different parameter estimation erosivity of rainfall, the soil erodibility and topography, allowing the preparation of maps susceptibility, with different scenarios of land use before and after fire.

The study site was a small elementary basin Ferradosa the parish in the Customs of the Faith municipality, yet with evident marks of the great walleye, fire, triggered on July 8, 2013, affecting a total area of nearly 15,000 ha. The different elements of the basin were analyzed both its biophysical and morphological characteristics, whichever is the USLE erosion model (Soil Loss Universal Equation) with five different factors in order to estimate the potential risk of soil degradation for to the above conditions and subsequent fire, in this case with application of various soil protection measures in the basin. For the application of the model it used a digital terrain model (resolution of 5 meters), combined with the integration of all spatial information in Geographic Information Systems.

The results estimate a severe potential for soil loss after the fire, indicating the importance of vegetation cover in reducing water erosion. Therefore, it is essential to program and implement the post-fire soil protection measures, in order to lessen the likelihood of severe damage to the environmental soil and water resources. It would also be important in these approaches using updated spatial information, in particular

integrating the C and P factor (land cover and land use practices) in order to better estimate current rates of erosion.

Keywords: Forest Fires; Soil erosion; USLE (USLE); Customs of the Faith; Geographic Information Systems (GIS)

Índice

Capítulo I.....	14
1.1 Introdução	14
1.2 Objetivos globais	15
Capítulo II: Enquadramento concetual.....	16
2.1 Introdução	16
2.2 Conceitos associados aos riscos.....	16
2.2.1 Definição.....	16
2.2.2 Vulnerabilidade	18
2.2.3 Suscetibilidade	19
2.3 Erosão Hídrica	19
2.4 Bacia Hidrográfica	20
2.5 Topografia.....	21
2.6 Incêndios Florestais	23
2.6.1 Florestas	23
2.6.2 Espaços Florestais	23
2.7 Equação Universal de Perda de Solo (EUPS/ ULSE).....	24
Capítulo III: Enquadramento – Alfândega da Fé	25
3.1 Introdução	25
3.2 Enquadramento Geográfico do Concelho	26
3.3 Enquadramento Geomorfológico.....	27
3.3.1 Modelo digital do terreno	27
3.3.2 Ocupação do solo.....	28
3.3.3 Declives.....	29
3.3.4 Pedregosidade	30
3.3.5 Carta de solos.....	31
Capítulo IV: Material e Métodos	33
4.1 Caraterização genérica	33
4.1.1 Bacia Hidrográfica de Estudo	33
4.1.2 Projeto implementado na bacia hidrográfica	33
4.1.3. Caraterização Litológica e geológica	34
4.1.4. Vegetação	35
4.2 Procedimentos de campo	36

4.2.1. Metodologia de estudo	36
4.2.2. Recolha de dados	37
4.3 Considerações em torno da utilização dos SIG na modelação da erosão	39
4.4 Delimitações da Bacia Hidrográfica	39
4.5 Avaliações da Erosão hídrica do Solo com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica.....	39
4.5.1 Fator Erosividade da Precipitação – R	41
4.5.2 Fator Erodibilidade do Solo – K	42
4.5.2 Fator Topográfico – LS.....	43
4.5.3 Fator Cultural – C.....	44
4.5.4 Fator Práticas Conservativas do solo – P	46
4.6 Cenários Antes e Pós-incêndios.....	46
Capítulo V: Resultados e Discussão	48
5.1 Fator LS – fator topográfico	48
5.2 Mapas de Erosão Potencial	49
5.2.1 Erosão Potencial com k não corrigido.....	49
5.2.2 Erosão Potencial com o K corrigido com base na Carta de Pedregosidade	49
5.2.3 Erosão Potencial com os dados recolhidos no local.....	50
5.2.4 Erosão atual: cenários antes e pós-incêndio	51
Capítulo VI: Considerações Finais	54
Bibliografia.....	56
Anexos.....	59

Índice Figuras

Figura 1- Esquema metodológico.....	14
Figura 2 - Conceito de risco, como resultado do produto entre os elementos que definem a perigosidade, a suscetibilidade e a vulnerabilidade. Adaptado de C. Bateira (2001); R. Garcia, J. Zêzere (2003); S. Kumpulainen (2006); J. Agarwal E D. Blockley (2007). Extraído de Soares, 2008.	16
Figura 3- Risco de vulnerabilidade (adaptação Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio).....	18
Figura 4- Inter-relação entre os fatores que condicionam a erosão. Extraído de Soares (2008)	20
Figura 5- Corte transversal de uma bacia (Lencastre e Franco, 2006).	21
Figura 6- Superfície Topográfica - Planta Topográfica. Extraído de Maria Cecília Bonato Brandalize.	21
Figura 7 - Enquadramento de Alfândega da Fé.....	27
Figura 8- Modelo de Elevação de terreno para Alfândega da Fé.	28
Figura 9- Mapa de ocupação de uso do solo para o concelho de Alfândega da Fé.	29
Figura 10- Mapa de Declives de Alfândega da Fé, em percentagem.	30
Figura 11- Carta da Pedregosidade superficial dos solos (% elementos grosseiros) de Alfândega da Fé.....	31
Figura 12- Unidades Principais dos Solos dominantes nas Unidades Cartográficas de Solos do Nordeste de Portugal (legenda FAO/UNESCO (1988): distribuição espacial e % de área).	32
Figura 13- Enquadramento da área de estudo	33
Figura 14- Bacia de Estudo. Fonte: Própria (1 de Maio de 2015).	34
Figura 15- Carta de Solos da bacia hidrográfica.	35
Figura 16- Ocupação do solo – Cos 2007 nível 5.....	36
Figura 17- Pontos de amostragem	37
Figura 18- Recolha de dados de cobertura do solo e pedregosidade.	38
Figura 19- Cartas para a avaliação de superfícies cobertas/descobertas: para cada % de cobertura, em cima à esquerda distribuições regulares, em baixo à esquerda distribuições concentradas. Fonte: Gondron (1983), p. 163.....	38
Figura 20- Fatores que afetam a erosão hídrica do solo. Adaptado de Ferreira, 2008. ...	41
Figura 21- Fator L.	43
Figura 22- Fator S.....	44

Figura 23- Ocupação do solo – bacia hidrográfica.....	46
Figura 24- Mapa do fator LS.	48
Figura 25- Mapa de erosão com K não corrigido.	49
Figura 26- Mapa com k corrigido (carta de pedregosidade).	50
Figura 27- Erosão Potencial, com o valor K corrigido com os dados locais.....	51
Figura 28- Erosão com os dados da cos 2007, antes do incêndio.	52
Figura 29- Erosão com os dados recolhidos em campo, pós- incêndio.....	53

Índice Tabelas

Quadro 1 - Definições de Risco segundo vários autores.	17
Quadro 2- Valores aproximados de velocidade do escoamento superficial (ms-1) em diferentes coberturas. In: Bertoni e Neto, 1990; Gonçalves 2002.....	22
Quadro 3- Efeito do comprimento da encosta nas perdas do solo. In: Gonçalves, 2002	22
Quadro 4- Valores indicativos do fator C da USLE (Figueiredo, 1999)	45

Índice dos Anexos

Anexo 1- Relação do nº de ocorrências com a área ardida, em ha, entre 1980 e 2009 em Portugal.....	60
Anexo 2-Relação da área ardida com a área total de floresta, em ha, entre 1990 e 2009 em Portugal. Fonte: Forest Fire in Europe, 2009 - http://www.worldbank.org	60
Anexo 3-Mapa do Flow Length – upstream.	61
Anexo 4- Mapa de Declives para a bacia hidrográfica (graus).	61
Anexo 5- Mapa de precipitações para Alfândega da Fé.	62
Anexo 6-Medidor laser de distâncias.	62

Capítulo I

1.1 Introdução

Os incêndios florestais são eventos responsáveis por múltiplos prejuízos materiais, dos quais se destacam a redução da área florestada e, consequentemente, a degradação dos solos, sobretudo devido ao aumento da sua perda por erosão hídrica (**Meneses, 2011**) e, também, pela afetação das suas propriedades químicas e atividade biológica (**Carter e Foster, 2004**). O clima mediterrânico tem neste caso especial importância, pois o regime de precipitações, associado à topografia acidentada, comum nos povoamentos florestais do Norte de Portugal, é preponderante na ocorrência destes fenómenos naturais.

No ano de 2013 ocorreu um grande incêndio florestal, o incêndio de Picões, o qual afetou uma área total de 13706 ha. Esta realidade evidenciada enquadra-se na perspetiva dos riscos naturais, no contexto geográfico de uma pequena bacia hidrográfica do concelho de Alfândega da Fé, mais precisamente na freguesia da Ferradosa.

Objetivamente, pretende-se avaliar o impacto que este risco teve na degradação dos solos e avaliar de que forma as medidas introduzidas de reabilitação estão, ou não, a ser coerentes com as necessidades verificadas no local.

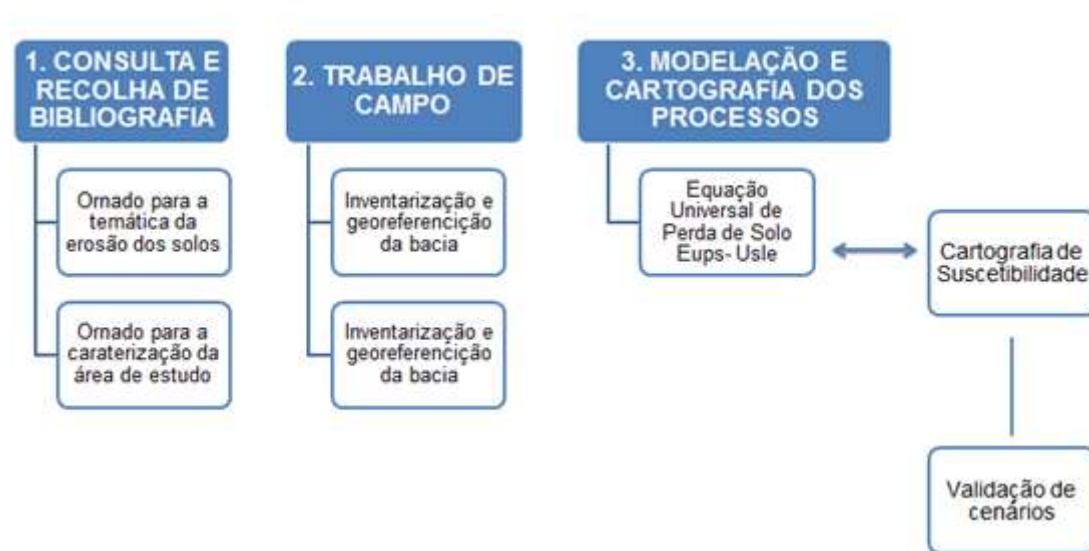


Figura 1- Esquema metodológico.

Por conseguinte, o primeiro capítulo contempla o enquadramento conceptual, abordando questões relacionadas com os processos de erosão do solo. Com este

propósito, faz-se uma alusão à tipologia e processos de erosão e às propriedades do solo que a condicionam.

O segundo capítulo do trabalho é dividido em diferentes secções onde na primeira pretende-se localizar e caraterizar de forma alargada o território envolvente da bacia hidrográfica selecionada como área de estudo, e na seguinte é realizada a descrição desta bacia hidrográfica no contexto dos riscos naturais. Em seguida, apresenta-se a sequência metodológica do estudo, combinando trabalhos de campo necessários à determinação de alguns parâmetros que condicionam a erosão dos solos, o que permitiu a aplicação de um modelo de erosão e a elaboração da respetiva cartografia de suscetibilidade.

A avaliação da perda de solo e das técnicas utilizadas para a sua recuperação é evidenciada no terceiro capítulo. Assim sendo, descrevem-se os procedimentos de aplicação do modelo (USLE), onde serão criados diversos cenários passíveis de análise e assim tentar caracterizar as condições anteriores e posteriores ao incêndio florestal, de forma a avaliar o desempenho das medidas introduzidas.

1.2 Objetivos globais

Este trabalho teve como principal objetivo a aplicação do modelo de erosão EUPS (USLE), em ambiente SIG, numa bacia hidrográfica elementar na área ardida pelo grande incêndio de Picões (2013). Para isso, os diversos fatores de erosão foram estimados e cartografados para obter os cenários potenciais antes e depois do incêndio, possibilitando assim a avaliação do desempenho das técnicas aplicadas na recuperação do solo.

Capítulo II: Enquadramento concetual

2.1 Introdução

Neste capítulo pretende-se abordar todos os conceitos necessários à elaboração do trabalho, com base em suporte bibliográfico investigado. Desde já se definem como principais propósitos: (i) conceito de risco; (ii) efeitos dos fogos florestais; (iii) efeito dos fogos florestais na degradação dos solos; (iv) elementos grosseiros e seu efeito na erodibilidade dos solos; (v) modelo USLE e seus parâmetros.

O principal foco da pesquisa são os incêndios florestais como determinantes de degradação dos solos. O modelo de USLE e os seus fatores merecem especial atenção neste trabalho.

2.2 Conceitos associados aos riscos

2.2.1 Definição

O conceito de risco varia consoante a perspetiva de análise e do tipo de enquadramento do trabalho (Julião *et al*, 2009, p. 20; Figura 1). Torna-se assim fundamental a apresentação de alguns conceitos de risco (presentes no Quadro 1) embora se perceba certa coerência em torno do conceito de risco enquanto (...) *probabilidade de ocorrência de um determinado evento e suas competências* (Soares, 2008, p.330).

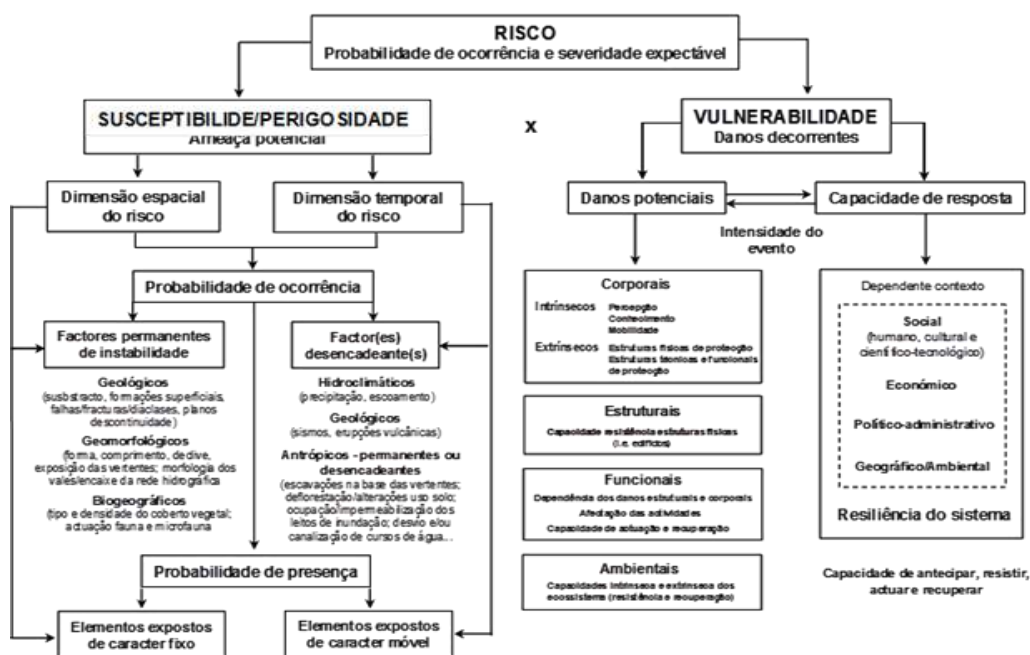


Figura 2 - Conceito de risco, como resultado do produto entre os elementos que definem a perigosidade, a suscetibilidade e a vulnerabilidade. Adaptado de C. Bateira (2001); R. Garcia, J. Zêzere (2003); S. Kumpulainen (2006); J. Agarwal E D. Blockley (2007).

Extraído de Soares, 2008.

Sendo assim, e no trabalho apresentado será utilizada a definição do Guia Metodológico, pois esta definição parte de um documento técnico atual e validado cientificamente, sendo utilizado na elaboração dos Planos Municipais de Emergência de Proteção Civil. Define assim risco como uma “Probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos”.

Quadro 1 - Definições de Risco segundo vários autores.

Probabilidade de ocorrência de um efeito específico causador de danos graves à Humanidade e/ou ao ambiente, num determinado período e em circunstâncias determinadas. Por outras palavras, o risco exprime a possibilidade de ocorrência e respetiva quantificação em termos de custos, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela atividade antrópica.	Zêzere, Pereira e Morgado (2006, p.3)
The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihood, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human or human-induced hazards and vulnerabilities.	World Health Organization (2007)
Probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens ou ambiente, expressas em danos corporais e /ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.	Julião et al (2009, p.22)
The probability of occurrence or expected degree of loss, as a result of exposure to a hazard.	Highland & Bobrowsky (2008, p.61)

Mas associadas à definição de risco, há que ter em conta outras concetualizações, designadamente os conceitos de Vulnerabilidade e suscetibilidade.

2.2.2 Vulnerabilidade

A noção de vulnerabilidade está associada à noção de risco. A vulnerabilidade expressa o grau de danos de um determinado elemento que está sujeito à ocorrência de um fenómeno natural com determinada magnitude ou intensidade (Figura 3). O valor expressa-se numa escala entre zero – sem danos e 1 – o dano é total. A vulnerabilidade varia de elemento para elemento, e de fenómeno para fenómeno. Segundo as **Nações Unidas (1984)**, “a vulnerabilidade pode ser entendida como o grau de perda ou de estragos provocados por um dado elemento em risco ou num conjunto de elementos em risco (população, atividades económicas) resultante da ocorrência de fenómenos naturais”.

Segundo, o guia metodológico (**Julião et al., 2009**) vulnerabilidade é o “grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade”.

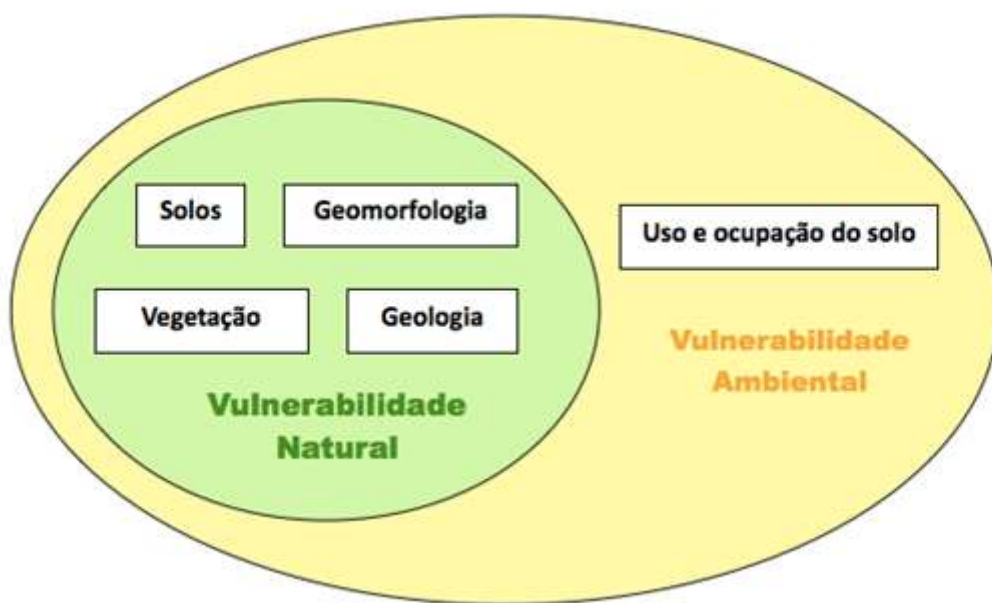


Figura 3- Risco de vulnerabilidade (adaptação Prof. Dr. Alfredo Marcelo Grigio)

2.2.3 Suscetibilidade

Num dos seus artigos, **Zêzere em 1997** define suscetibilidade como “*a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenómeno, numa dada área com base nos fatores condicionantes do terreno.*” Em **2007, Verde e Zêzere** sustentam que a “*suscetibilidade expressa á propensão de uma dada área ou unidade territorial para ser afetada pelo fenómeno estudado, avaliada a partir das propriedades que lhe são intrínsecas. Uma unidade territorial será mais ou menos suscetível conforme seja mais afetada ou potencie a ocorrência e desenvolvimento do fenómeno. No caso dos incêndios florestais, uma determinada área será tanto mais suscetível quanto melhor permitir a deflagração e/ou a progressão do incêndio*”.

2.3 Erosão Hídrica

A erosão hídrica do solo, em senso lato, define-se como um “processo” de destacamento e transporte de partículas seja esta pela ação do escoamento superficial ou da precipitação. Este tipo de erosão depende do tipo de características dos materiais e do meio sobre qual esta atua, admitindo, uma maior ou menor intensidade sobre o local onde esta atua. (**Selby, 1993; Grimm et al., 2002**).

Neste contexto, **Morgan (1986)** considera que a erosão hídrica dos solos pode ser subdividida em duas fases principais: a primeira ao ‘desprendimento’ de partículas individuais do solo, essencialmente através do impacto das gotas de chuva (*raindrop impact* ou *rainsplash*) e, a segunda, ao seu transporte através do que se designa fluxo superficial (*overland flow*).

Sendo assim, e como refere **Soares (2008)**, a quantidade, duração e intensidade da precipitação condicionam a erosão e mesmo o processo de erosividade (processo de escoamento) – que em parte controlam o tipo de processos que serão desencadeados – por outro lado, subordinam parâmetros relacionados com os materiais e as circunstâncias morfoestruturais e antrópicas em que se inserem (fatores de erodibilidade), influenciando a suscetibilidade à atuação dos processos erosivos (Figura 4).

Contudo, e segundo **Bryan (2000)**, o impacto da precipitação e a energia associada ao escoamento são os principais fatores da erosão hídrica, no qual podem ser subdivididos em cinco subprocessos: o impacto das gotas de água da chuva no solo (*rainsplash/raindrop erosion*); a erosão em manto ou erosão laminar (*sheetwash/sheet erosion*), que ligado ao primeiro define a erosão entre sulcos (*interrill erosion*); a erosão

em sulcos (*rill erosion*), que corresponde a uma fase principiante da erosão linear; a erosão em ravinas (*gully erosion*); e por último a erosão em túneis ou canais subterrâneos (*pipe erosion*), tipologia que surge normalmente associada ao escoamento subsuperficial (*interflow*).

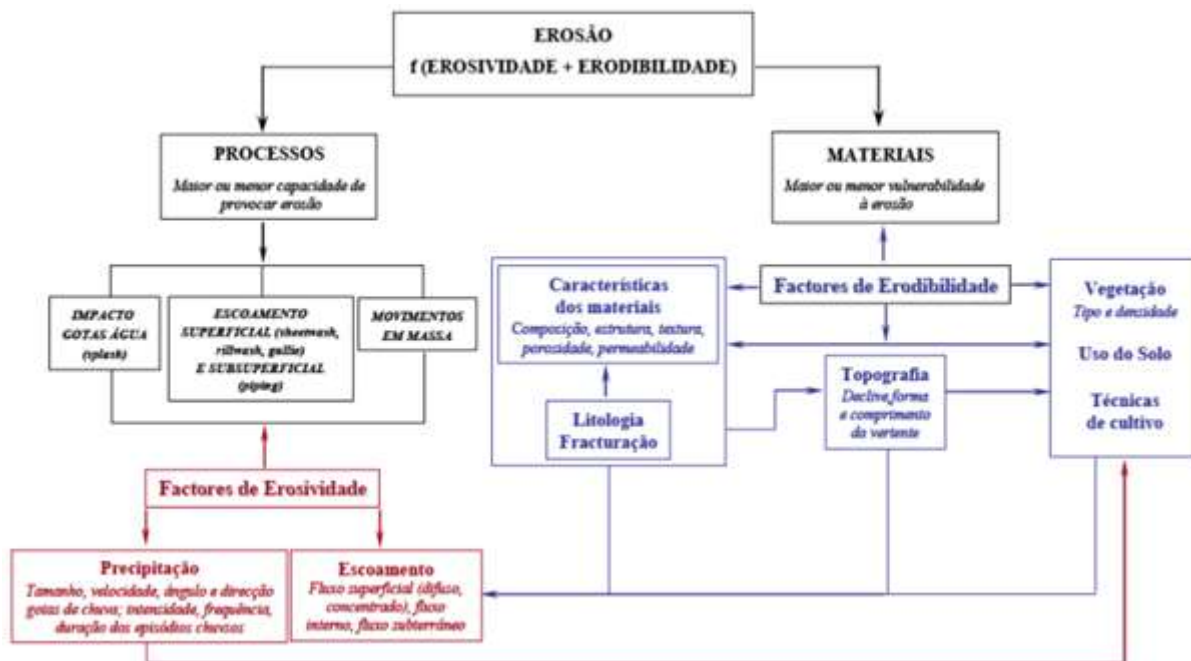


Figura 4- Inter-relação entre os fatores que condicionam a erosão. Extraído de Soares (2008)

2.4 Bacia Hidrográfica

As bacias hidrográficas podem ser definidas como um conjunto de terras drenadas pelos seus afluentes e consequentemente pelo rio principal (**Guerra, 1978**), ou como uma área definida topograficamente, drenada por um curso de água ou sistema interligado de água, no qual os caudais dos efluentes são descarregados numa única saída (**Lencastre e Franco, 2006**). Por sua vez, o conhecimento dos aspetos físicos, mas principalmente da morfologia de uma bacia torna-se indispensável para perceber realmente sua dinâmica. (Figura 5).

Uma forma de analisar e monitorizar uma bacia hidrográfica é através de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), bem como, através de deteção remota e geoprocessamento.

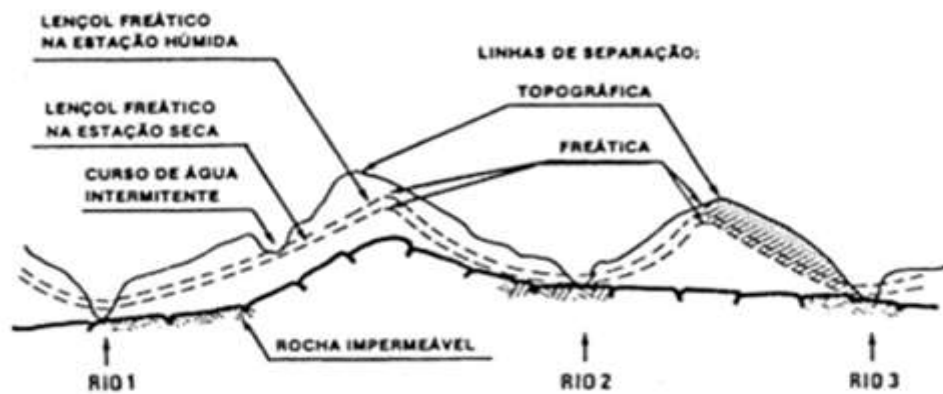


Figura 5- Corte transversal de uma bacia (Lencastre e Franco, 2006).

2.5 Topografia

A topografia do terreno deve ser analisada segundo três importantes características: o declive, o comprimento da encosta, e a sua forma (**Gonçalves, 2002**).

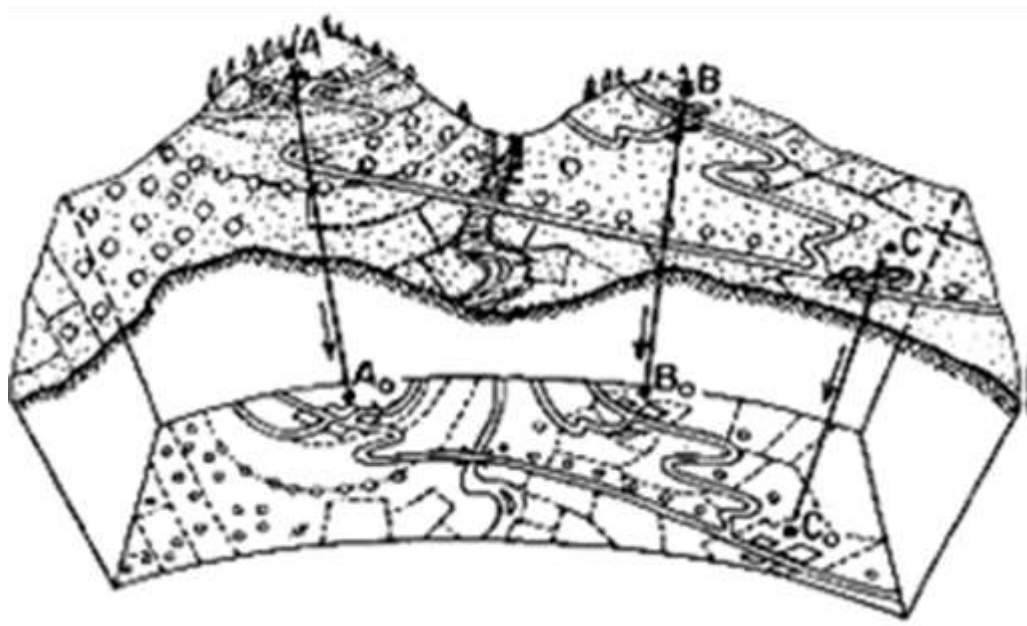


Figura 6- Superfície Topográfica - Planta Topográfica. Extraído de Maria Cecília Bonato Brandalize.

Quadro 2- Valores aproximados de velocidade do escoamento superficial (ms^{-1}) em diferentes coberturas. In: Bertoni e Neto, 1990; Gonçalves 2002.

Velocidade de escoamento superficial (ms^{-1})

Declive do terreno %	Cobertura vegetal da encosta		
	Floresta	Pastagem	Culturas anuais
0 - 4	0,30	0,45	0,60
4 - 10	0,60	0,90	1,20
10 - 15	1,00	1,20	1,50
15 - 20	1,20	1,50	1,70
20 - 25	1,40	1,60	1,80
25 - 30	1,50	1,80	1,90

Segundo **Gonçalves (2002)** quanto maior for o declive do terreno maior será o escoamento superficial (Quadro 2), e consequentemente, maior será a degradação do solo, bem como, a sua melhor aptidão ao transporte de partículas. (Quadro 3).

Quadro 3- Efeito do comprimento da encosta nas perdas do solo. In: Gonçalves, 2002

Perda de Solo (t ha^{-1})

		Primeiros Segundos Terceiros Quartos			
Comprimento da encosta (m)	Media	25 m	25 m	25 m	25 m
25	14	14	-	-	-
50	20	14	26	-	-
75	26	14	26	39	-
100	33	14	26	39	51

Entende-se, portanto, que quanto maior for o declive, maior será a taxa de erosão e consequentemente drenagem superficial. A inclinação da vertente tem uma relação exponencial com a erosão, sendo que, encostas íngremes são mais propensas à erosão do solo (**Xanthakis e Pavlopoulos, 2009**).

2.6 Incêndios Florestais

Segundo o **Manual de Formação Inicial de Bombeiro**, um “*incêndio florestal é um incêndio com início numa área florestal ou que atingiu uma área florestal*” e considera-se que este pode ser provocado “*pela ação natural ou pela ação humana*” (**Lourenço et. al, 2004**). “*Corresponde a um fogo incontrolado em florestas, matas e outros espaços com abundante vegetação (matos, áreas de inculto e áreas agrícolas). Estes são habituais nas áreas de clima mediterrânico, particularmente em dias quentes e secos, sobretudo quando se associa também o vento forte. Podem ser o resultado de causas naturais (trovoadas secas), mas, em regra, são devidos a negligência humana e, muitas vezes, a atos de natureza criminosos*” (**Julião, R. et al 2009**). É devido a esta característica, de ocorrência habitual nos países mediterrâneos, que optamos por comparar o nosso caso Português com países como a Espanha, França, Itália e Grécia.

2.6.1 Florestas

Como refere **Fernando Catarino** no seu artigo “A Floresta em Portugal”, “*as florestas são os sectores da biosfera mais complexos que se conhecem e onde é maior a diversidade de nichos ecológicos e comunidades. São, também, muito estáveis face às oscilações dos fatores climáticos e facilmente se reequilibram na sequência de perturbações, sobretudo se localizadas. Define-se por uma “associação vegetal, normalmente espontânea, suficientemente densa e extensa, em equilíbrio dinâmico com o solo e o clima, em que a forma arbórea é dominante relativamente às plantas arbustivas e herbáceas*”. É “*uma formação vegetal em que predominam as árvores e outros vegetais lenhosos, crescendo relativamente perto uns dos outros e que se destina à produção de madeira e outros produtos florestais tais como resinas, cortiça, frutos secos, mel, etc.*” (**L. LUCIANO, et. al, 2004**). Assim podemos atribuir uma importância bastante relevante à floresta quanto as suas “funções” no meio-ambiente envolvente como recurso natural.

2.6.2 Espaços Florestais

Segundo os critérios definidos pelo Inventário Florestal Nacional, “*espaços florestais são os terrenos ocupados com floresta, matos, e pastagens ou outras formações vegetais espontâneas*”. Mais detalhadamente, “*são áreas ocupadas por arvoredos florestais de qualquer porte com uso silvo-pastoril ou os incultos de longa duração*.”

Inclui os espaços florestais arborizados e os espaços florestais não arborizados”.

(Diário da República, 2.^a série — N.º 173 — 7 de Setembro de 2009).

2.7 Equação Universal de Perda de Solo (EUPS/ ULSE)

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) – ou mais conhecida Universal *Soil Loss Equation* (USLE)¹ (Wischmeier e Smith, 1978) – tornou-se o modelo mais conhecido e aplicado para a estimativa da erosão num determinado local, que tem inclusivamente servido como principal suporte à definição de outros modelos da mesma categoria (RUSLE; Renard, *et al.*, 1991). Sendo assim, e de forma a identificar o potencial de perda de solo esta necessita de informações sobre os padrões de uso da terra, propriedades do solo, do relevo e mesmo da precipitação.

¹ As diferentes variáveis serão explicadas nos materiais e métodos.

Capítulo III: Enquadramento – Alfândega da Fé

3.1 Introdução

Floresta e sua evolução

O clima é um dos fatores com maior influência nas características de uma paisagem florestal. A vegetação apresenta variações sazonais e o seu crescimento ocorre, sobretudo, na Primavera e no Verão. O clima foi o principal fator de aparecimento das principais florestas nos países Europeus, ao qual a região de Alfândega da Fé não foi exceção. Assim podemos perceber que as variações do clima se refletem nas florestas cuja história podemos entender hoje.

Condições propícias à ocorrência de incêndios Florestais

O estudo desta calamidade é bastante recente e a maioria dos estudos surge a partir da segunda metade da década de 1980, onde este fenómeno não atingia as dimensões atuais, se caracterizando por ser um fenómeno natural, no qual os valores referentes à área ardida e o número de incêndios eram pouco significativos.

O clima Mediterrânico é um clima extratropical que possui valores anuais de precipitação no Verão muito pouco significativos e em que pelo menos dois meses após o solstício de verão são secos. Os principais alturas de chuva verifica-se nos meses de Novembro a Abril no Hemisfério Norte. Na bacia do mediterrâneo cerca de 70% de precipitação anual ocorre nos meses de inverno. Assim o Verão é bastante seco, tornando a região desvantajosa para as plantas, porque as temperaturas são elevadas, a radiação solar é intensa e a precipitação apresenta valores bastante reduzidos. O Inverno, mas principalmente o Verão, são estações adversas para o crescimento vegetal, onde os meses de Outono e Primavera registam os valores mais elevados de crescimento. Isto tem implicações, sobretudo nas áreas de produção, caracterizadas pela baixa produtividade.

Os fatores topográficos têm uma influência enorme no comportamento dos incêndios florestais. O relevo exerce efeitos diretos e indiretos no comportamento dos incêndios, bem como, as condições meteorológicas.

Entre Junho e Setembro de 2013 ocorreram quatro ondas de calor em Portugal, sendo uma delas registada entre 3 e 13 de Julho na região de Trás-os-Montes, onde incidiram 7% dos grandes incêndios registados no distrito de Bragança e Vila Real,

nomeadamente o grande incêndio florestal (GIF) de Alfândega da Fé, com início a 8 de Julho, e que consumiu 13 706 hectares de espaços florestais (Relatório anual IF2013). O GIF de Picões, como ficou conhecido, abrangeu parte das freguesias de Ferradosa, Gouveia, Cerejais, Sendim da Ribeira e Parada. Do espaço afetado pelo incêndio, 30,7% dos terrenos eram ocupados por Matos e Pastagens e 29,4% ocupados por Floresta. Com a evolução do fenómeno (anexo 1 e 2) existe por consequente uma rápida aceleração da erosão dos solos que determina em grande escala a evolução do relevo e mesmo a distribuição geográfica das paisagens. Os incêndios florestais intervêm também na evolução dos solos já que, pelos seus efeitos, a distribuição dos materiais como a própria natureza que constituem a superfície da terra, determinando o material originário dos solos (**Figueiredo, 2001**).

Por outro lado a falta de vegetação determina a maior degradação do solo, pois esta desempenha um papel fundamental na proteção do solo, por um lado impede o impacto direto das gotas de chuva sobre este (*splash*), por outro, favorece a infiltração da água, evitando desta forma a escorrência superficial pelas vertentes (**Roxo, 1994; GONÇALVES, 2002; Vadilonga et al., 2008**).

Consequentemente, surge a erosão hídrica, tornando-se a forma mais comum de erosão dos solos no globo terrestre, admiravelmente superior a outros tipos de erosão presentes (**Hudson, 1981**).

3.2 Enquadramento Geográfico do Concelho

A vila de Alfândega da Fé é sede concelhia. Localiza-se no distrito de Bragança, na região norte do território nacional e insere-se na sub-região do Alto Trás-os-Montes. O concelho é limitado a norte por Macedo de Cavaleiros, a leste por Mogadouro, a Sul por Torre de Moncorvo e a oeste por Vila Flor (Figura 7).

Compreende uma dimensão territorial de 321,95km², com uma população total de 5104 habitantes (**INE, 2011**). Relativamente a este parâmetro demográfico podemos verificar que a população concelhia aumentou até à década de 1960, atingindo aqui o ponto máximo populacional, com cerca de 9670 habitantes. A partir de meados desta década Alfândega da Fé tem sentido um gradual decréscimo populacional, muito devido á crescente litoralização ocorrida no território português.

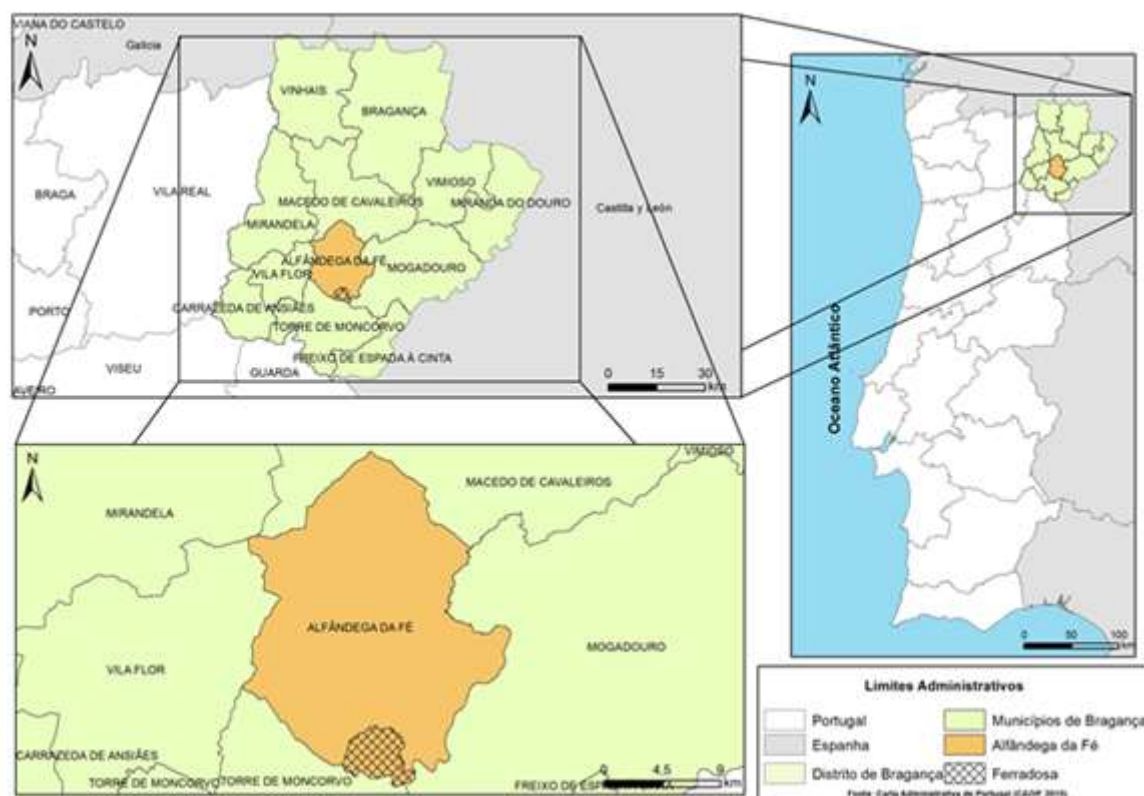


Figura 7 - Enquadramento de Alfândega da Fé

3.3 Enquadramento Geomorfológico

3.3.1 Modelo digital do terreno

O modelo de Elevação do Terreno (TIN) é um modelo baseado nas distâncias dos dados, ao qual são gerados através do método de triangulação, e quanto mais equiláteros forem, maior exatidão terá a descrição da superfície (Câmara e Medeiros, 1998). Sendo assim, este modelo foi conseguido através das curvas de nível com uma equidistância de 10 metros e os pontos cotados e vértices geodésicos ao qual foram interpolados pelo método de rede de triangulação irregular, de modo a gerar uma rede de altitude com resolução vertical de 20 metros. Sendo assim, e analisando o modelo para o concelho de Alfândega da Fé (Figura 8) claramente se verifica que é marcado por áreas de grande elevação onde a escala numérica varia dos 150 metros aos 1190 metros. A parte Norte do concelho é onde se verifica a maior altitude contrariamente da parte do Sul que regista as cotas mínimas de elevação, pois esta parte encontra-se junto ao Rio Sabor. A partir deste modelo derivam todos os mapas necessários à avaliação das características do terreno. Importa referir que o modelo matricial fornece uma representação adequada

da superfície em áreas de relevo acentuado, perdendo, contudo efetividade em áreas de declives suaves (Carter, 1988).



Figura 8- Modelo de Elevação de terreno para Alfândega da Fé.

3.3.2 Ocupação do solo

Posteriormente, foi elaborado o mapa de ocupação do solo, com recurso à carta de ocupação de 2007.

Esta cartografia é um importante instrumento de trabalho, pois evidência um papel fundamental quer na aplicação, quer na definição, quer no controle de políticas sociais, económicas e ambientais. Sendo assim, e analisando o produto final (Figura 9) percebe-se que o espaço territorial de Alfândega da Fé é imensamente marcado por florestas (15,16%), florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea (23,93) e culturas permanentes (34,99%). Denota-se, no entanto que o concelho de Alfândega da Fé detém um fraco Tecido Urbano (2,40%) ou mesmo Indústria e Comércio (0,29%).

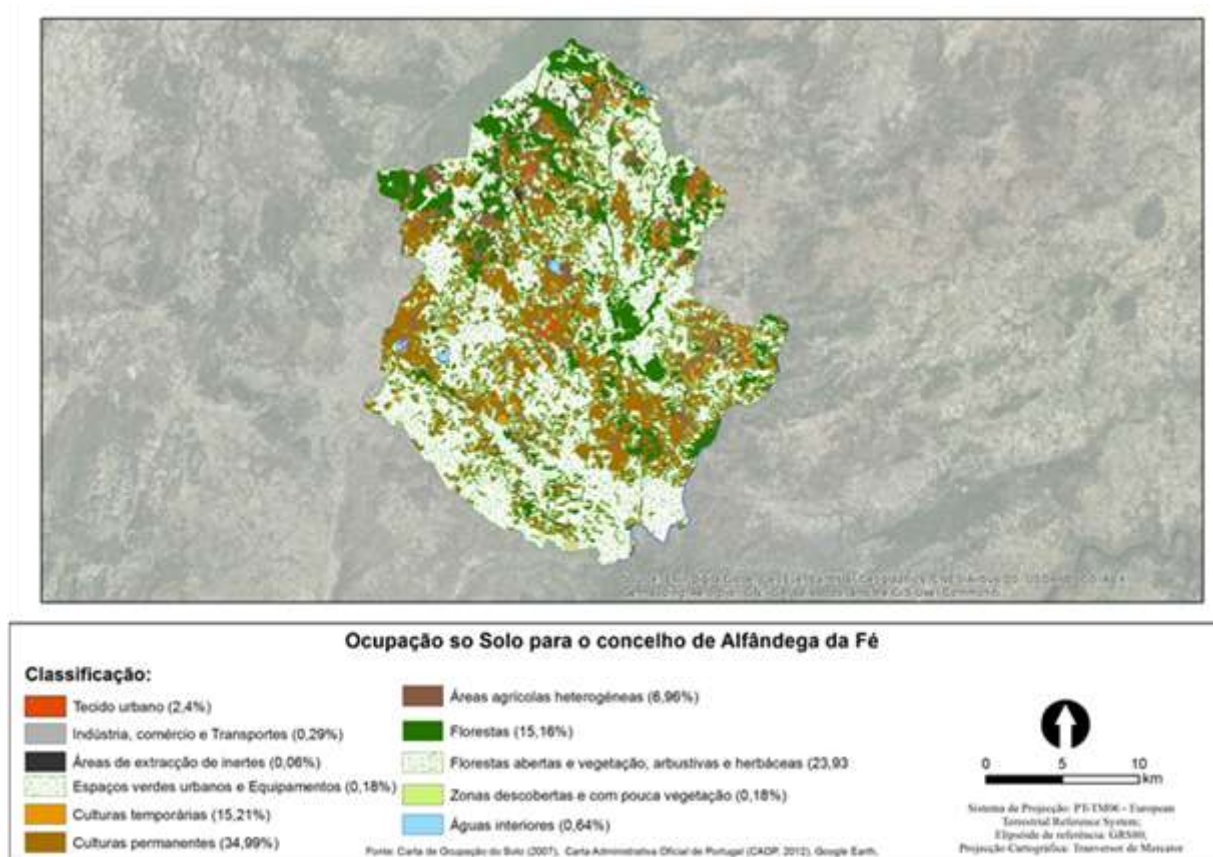


Figura 9- Mapa de ocupação de uso do solo para o concelho de Alfândega da Fé.

3.3.3 Declives

Através dos intervalos de percentagem apresentados por **Ramalho e Beek (1995)** definiram-se as classes de declives para a região, onde a classe de 0–3% corresponde ao perfil plano, a segunda classe de 3–8% ao suave ondulado, a terceira 8 – 13% ao moderadamente ondulado, a quarta 13–20% ao ondulado, a quinta 20–45% ao fortemente ondulado, e por último a classe maior que 45% à classe montanhosa. Os intervalos são definidos pelos autores conforme o grau de limitação de uso do solo em função da suscetibilidade a erosão.

Analisando o mapa de declives para a região de Alfândega (Figura 10) percebe-se que é fortemente marcada por zonas de grande inclinação em relação a um eixo horizontal, tendo muitas partes do território com inclinações entre os 20 e os 45% de declive, correspondendo desta forma cerca de 30 %. A classe ao qual corresponde menor área de afetação é na classe de > 45%, correspondendo 2,1% da superfície do território.

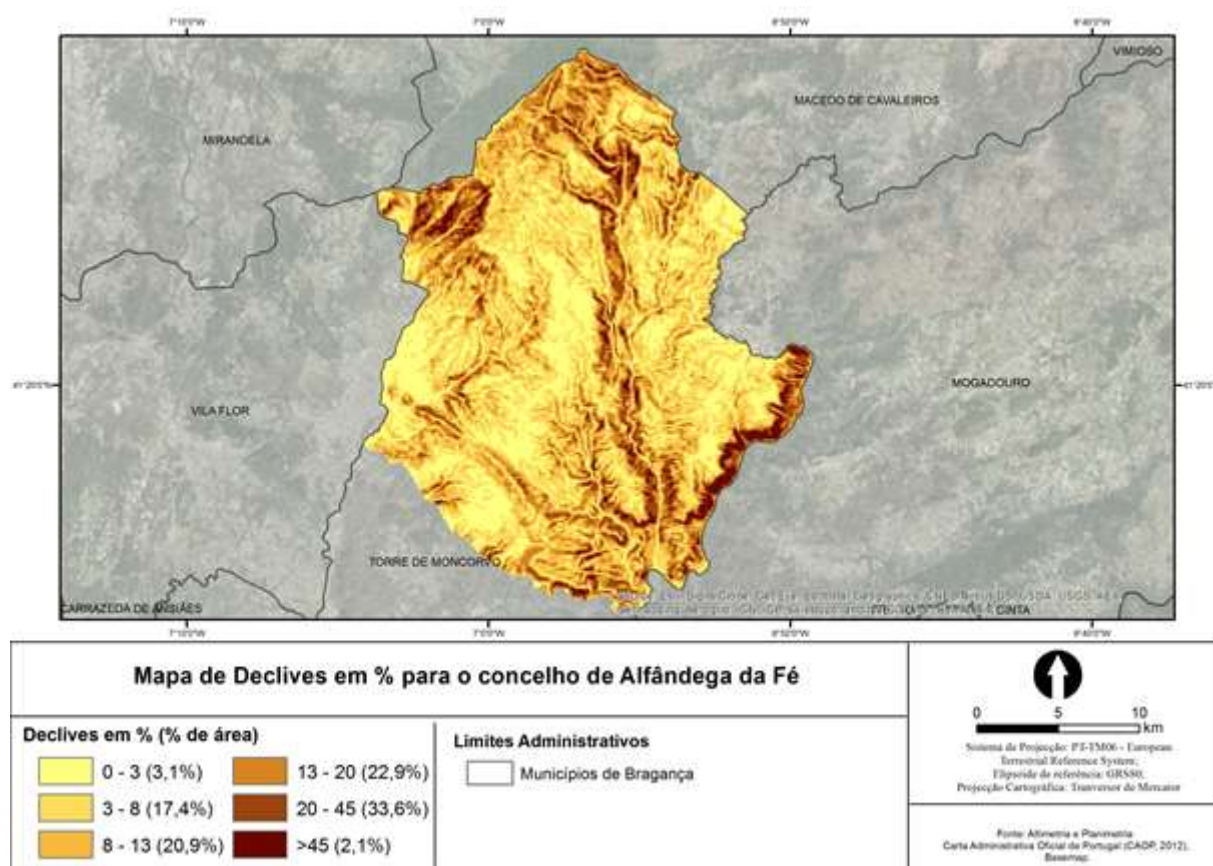


Figura 10- Mapa de Declives de Alfândega da Fé, em percentagem.

3.3.4 Pedregosidade

Como propriedade do solo afetando as suas características e comportamento, a pedregosidade tem influência na qualidade da terra. Genericamente, os solos de Trás-os-Montes são reconhecidos como pouco aptos para uso agrícola e, em certa medida, os elementos grosseiros contribuem para essa qualificação, uma vez que constituem um aspeto caracterizador da aptidão da terra (Agroconsultores e Coba, 1991).

Deste modo, e analisando o mapa de pedregosidade (Figura 11) percebe-se que as classes de maior pedregosidade, isto é, entre os 30 e maior que 50% encontram-se na parte Sul do Território, dando assim fundamento à presença de florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea, já evidenciadas no mapa de ocupação do solo.

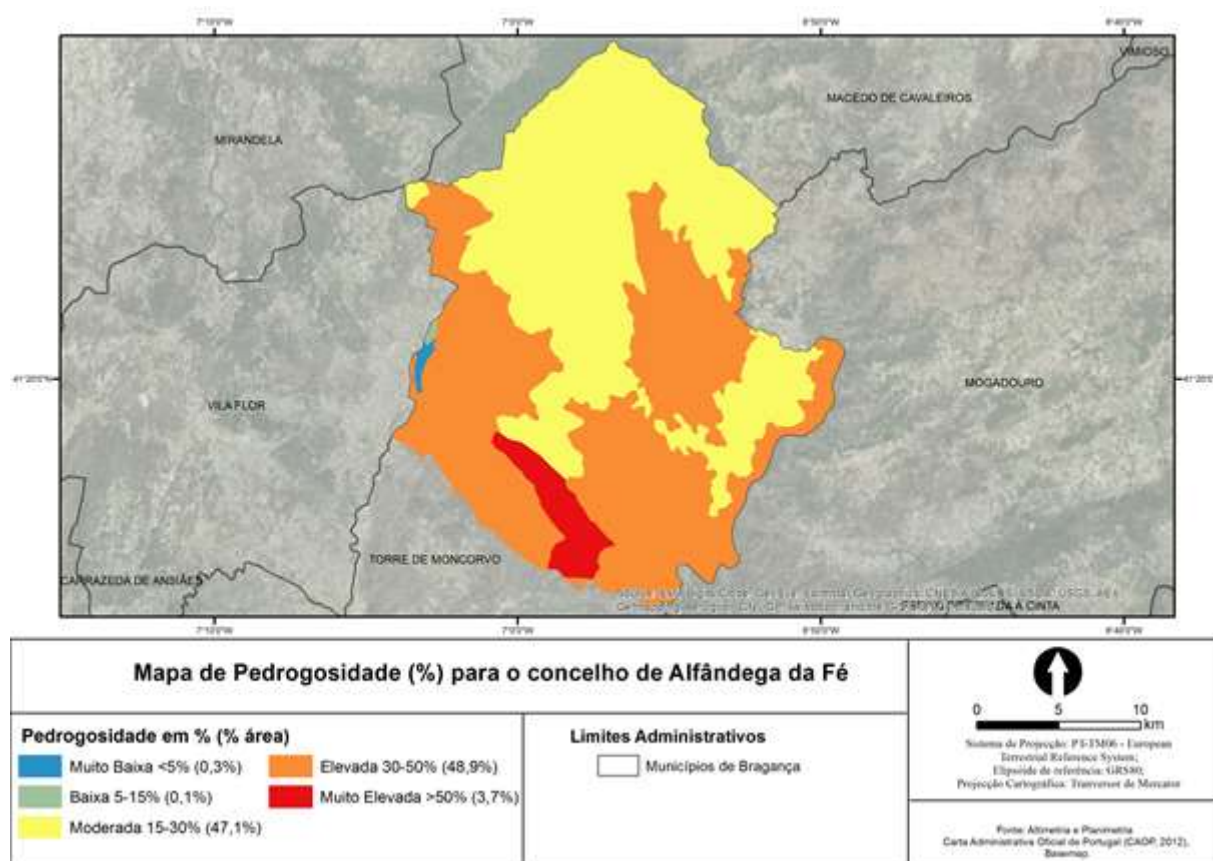


Figura 11- Carta da Pedregosidade superficial dos solos (% elementos grosseiros) de Alfândega da Fé.

3.3.5 Carta de solos

Analisando o mapa de solos (Figura 12) denota-se uma dominância percentual dos Leptosolos em detrimento dos restantes. No entanto, é importante salientar que estes

resultam do modo como está definida as nomenclaturas das unidades cartográficas, pois estas correspondem a ligações de unidades de solo e como tal assumem a unidade dominante, logo algumas unidades não estão representadas. (Figueiredo, 2005).

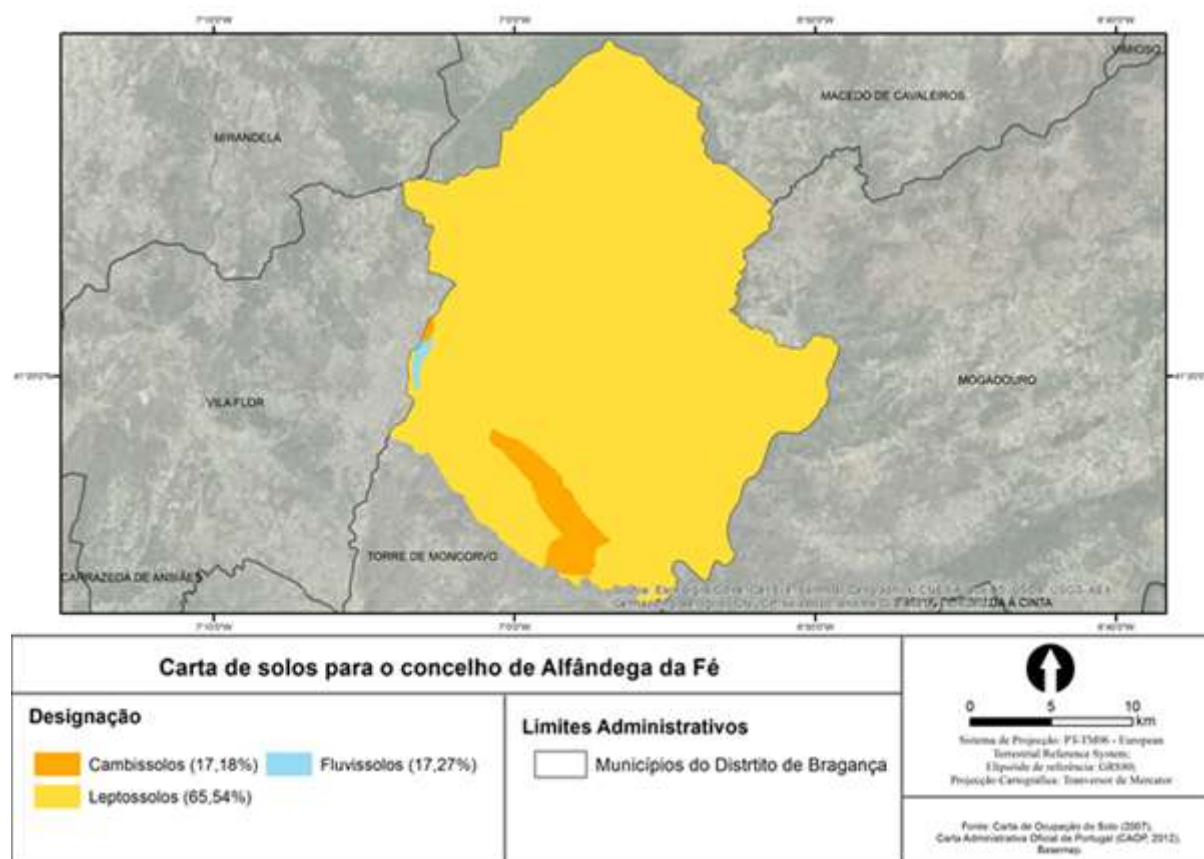


Figura 12- Unidades Principais dos Solos dominantes nas Unidades Cartográficas de Solos do Nordeste de Portugal (legenda FAO/UNESCO (1988): distribuição espacial e % de área).

Capítulo IV: Material e Métodos

4.1 Caraterização genérica

4.1.1 Bacia Hidrográfica de Estudo

A bacia hidrográfica de análise (34 ha) foi identificada e visitada, para o presente estudo, entre Novembro de 2014 e Fevereiro de 2015 em Ferradosa, concelho de Alfândega da Fé, com as coordenadas geográficas 41° 16' N e 6° 57' W, situado entre os 250 e os 540 m de altitude (Figura13).

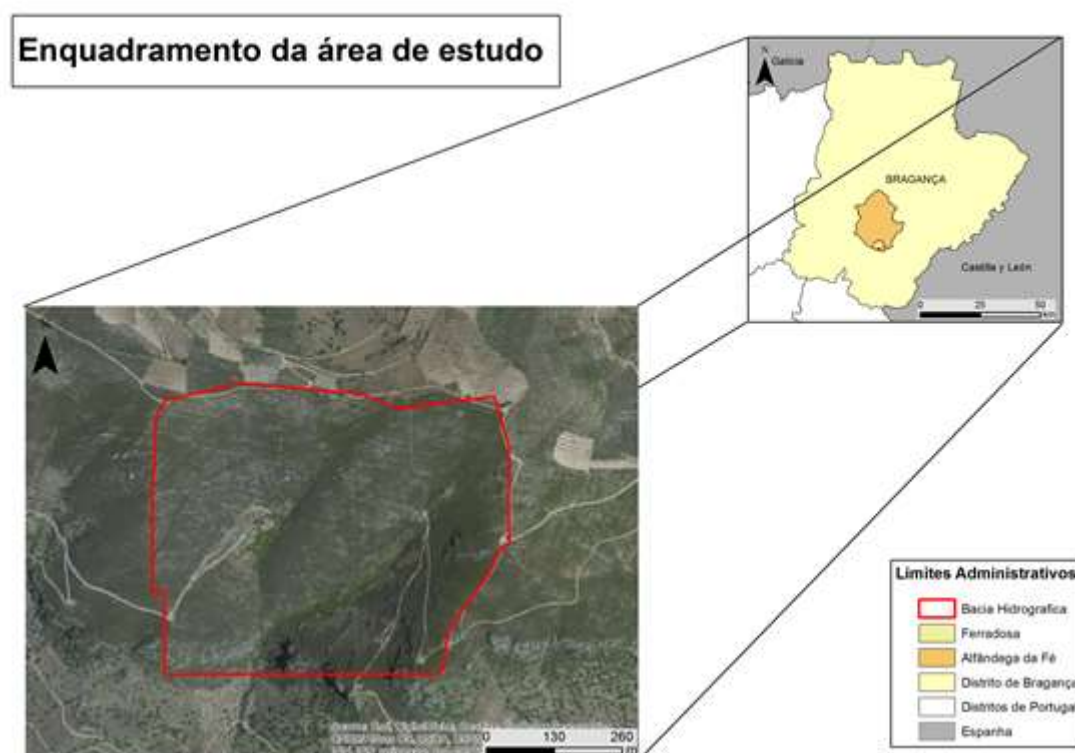


Figura 13- Enquadramento da área de estudo

4.1.2 Projeto implementado na bacia hidrográfica

A bacia de estudo em análise foi alvo de implementação de um projeto, chamado de Estabilização de emergência após incêndio no concelho de Alfândega da Fé. Detinha como principal objetivo a recuperação do coberto vegetal, minimização dos efeitos de erosão e proteção das linhas de água. Como tal, a EDP definiu alguns planos de contenção, que passavam por tratamentos e proteção de encostas, linhas de água e caminhos. Sendo assim, a ordem de trabalhos passou por aplicar uma sementeira de algumas leguminosas, que teve início no dia 13 de Novembro e finalizou a 30 de Dezembro de 2014. É de salientar, que os trabalhos na presente bacia começaram

tardiamente, pois o solo com potencial para ser erodido já se tinha perdido e a rebentação da vegetação espontânea já se verificava por toda a bacia (Figura 14).



Figura 14- Bacia de Estudo. Fonte: Própria (1 de Maio de 2015).

4.1.3. Caracterização Litológica e geológica

A litologia da região da Ferradosa é essencialmente constituída por xistos, frequentemente metamorfizados e quartzitos. Esta região enquadra uma vasta superfície planáltica integrante da Meseta ibérica e Maciço Hespérico (Moreira et al., 1997).

Caracterização dos solos

Em Alfândega da Fé, mais precisamente em Ferradosa (Figura 15), os solos dominantes são os Leptosolos dístricos órticos de xistos (Idox) que se caracterizam por serem “solos limitados por uma rocha” dura continua e coerente ou por material muito calcário ou ainda uma camada continua, cimentada a partir de menos de 50 cm de profundidade, ou solos de material não consolidado muito pedregoso, contendo muito pouca terra fina. (Agroconsultores e Coba, 1991).

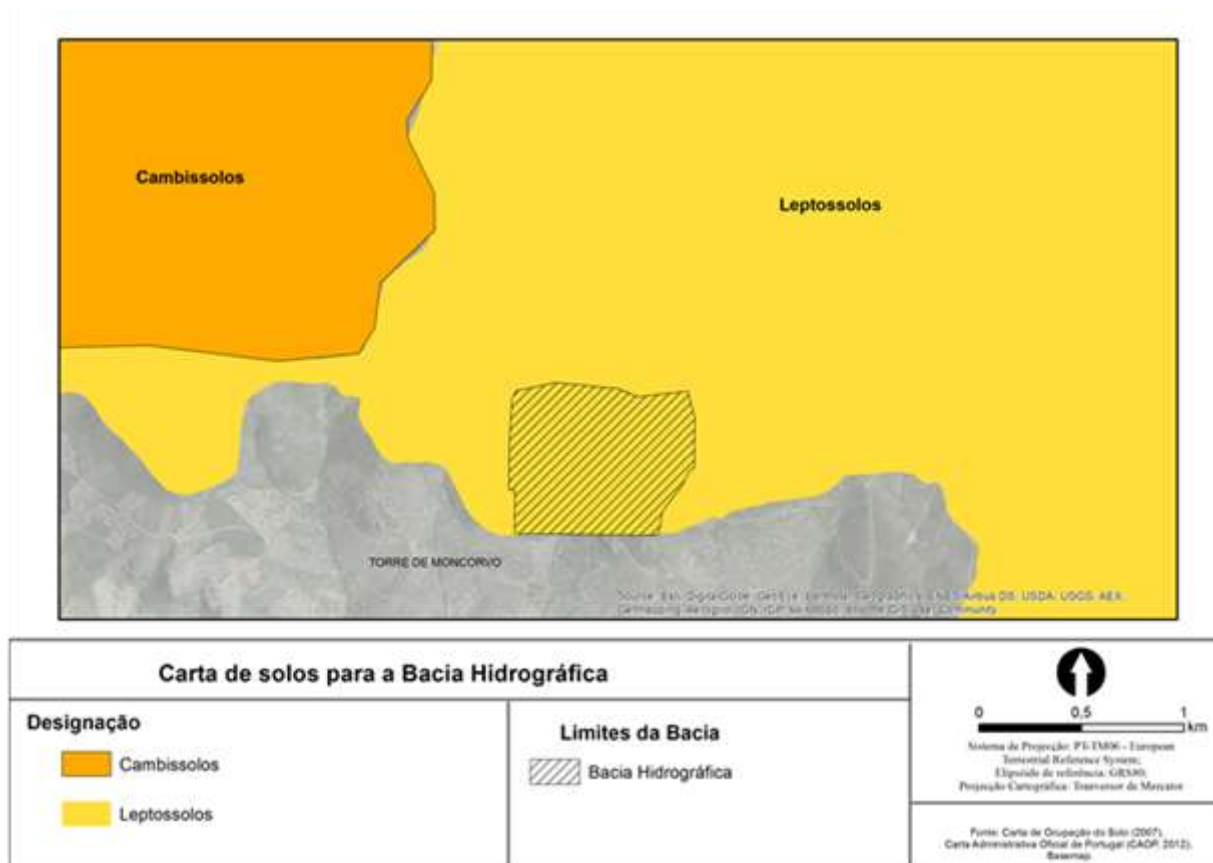


Figura 15- Carta de Solos da bacia hidrográfica.

Analisando a Figura 15, observa-se que a bacia hidrográfica em estudo se enquadra na tipologia Leptossolos, percebendo-se que são estes os solos das encostas erodidas da bacia que reflete um uso indevido dos solos, tendo um grau de saturação em bases inferiores a 50% (daí a reação ácida e subácida), onde o horizonte A detêm uma espessura de 10 a 30 cm de espessura onde tem uma textura média e por vezes cascalhenta, e horizonte C constituído por rocha degradada (**Agroconsultores e Coba, 1991**).

4.1.4. Vegetação

Após o incêndio decorrido em 2013 na bacia hidrográfica (Figura 16), a vegetação arbustiva passava por pequenos matos, incluindo, tojo, urzes, carqueja e giesta, espécies que caracterizam uma vasta área no noroeste da Península Ibérica (**Freitas *et al.*, 2004**).



Figura 16- Ocupação do solo.

4.2 Procedimentos de campo

4.2.1. Metodologia de estudo

Na bacia hidrográfica procedeu-se à recolha de vários elementos a estudar, tal como, pedregosidade e cobertura vegetal. Estes elementos foram recolhidos em 30 pontos de amostragem (Figura 17).

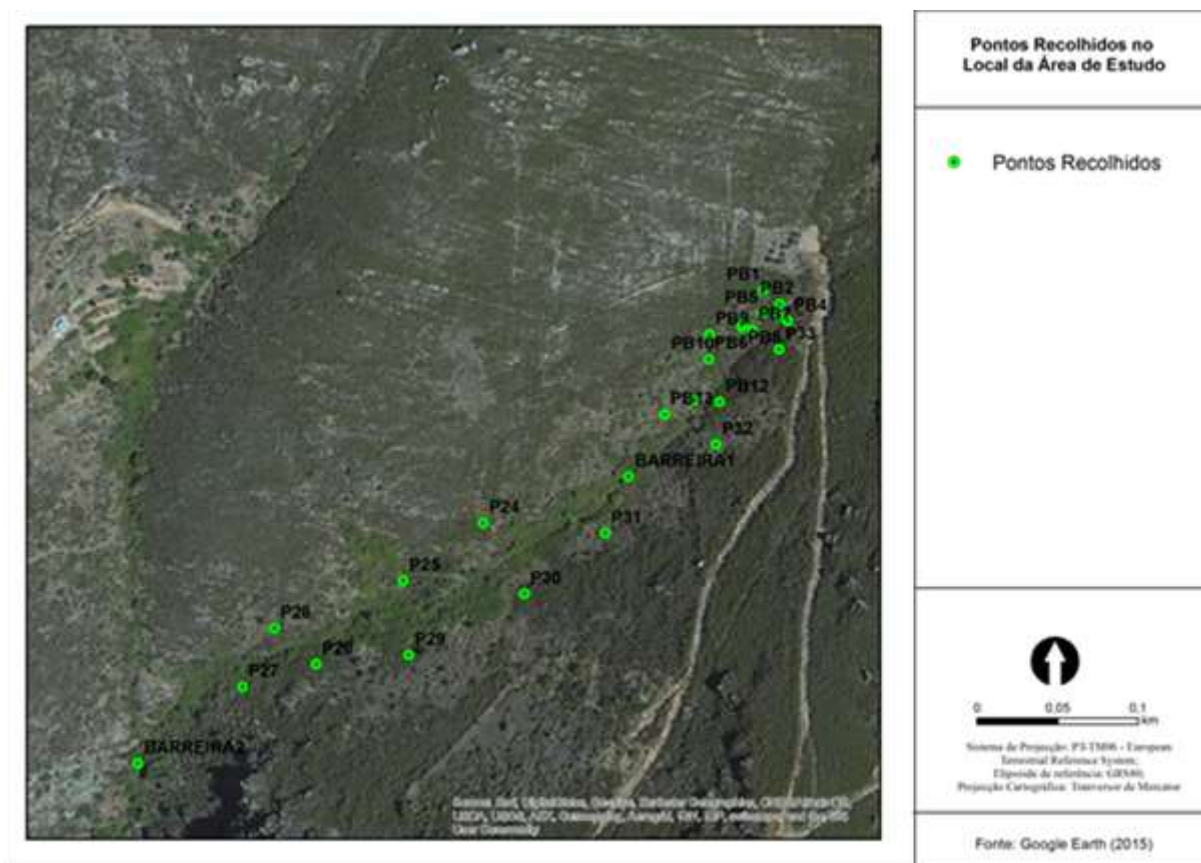


Figura 17- Pontos de amostragem

4.2.2. Recolha de dados

Depois de georreferenciado o ponto de análise através de GPS, procedeu-se ao levantamento dos cobertos vegetais bem como da pedregosidade. Para isso, procedeu-se ao método de contagem de pontos *in loco*, recorrendo a uma quadricula de 1m^2 . Mediuse o crescimento das plantas com um medidor laser de distâncias (Anexo 6), bem como ainda o nível de cobertura de elementos.

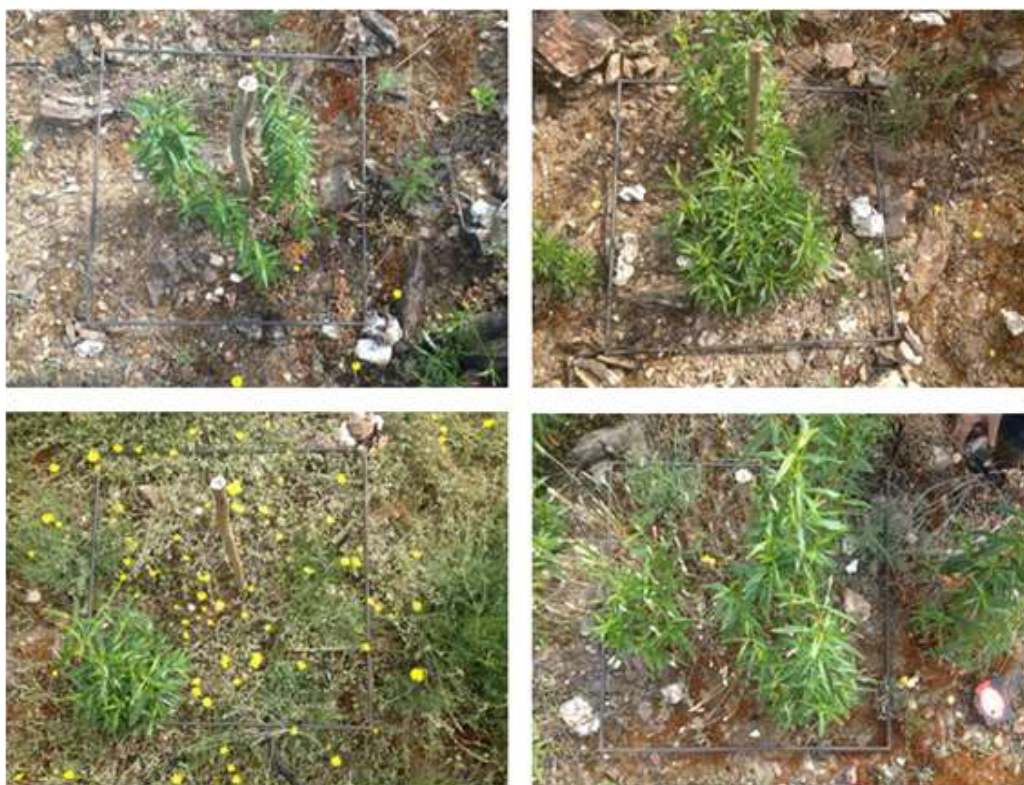


Figura 18- Recolha de dados de cobertura do solo e pedregosidade.

Para avaliar o nível de cobertura nos pontos de amostragem procedeu-se a uma comparação com imagens correspondentes a frações de cobertura pré-determinadas (Figura 19) com as observadas na superfície do solo (Figura 18) atribuindo a cada ponto um valor aproximado, atendendo à observação no local.

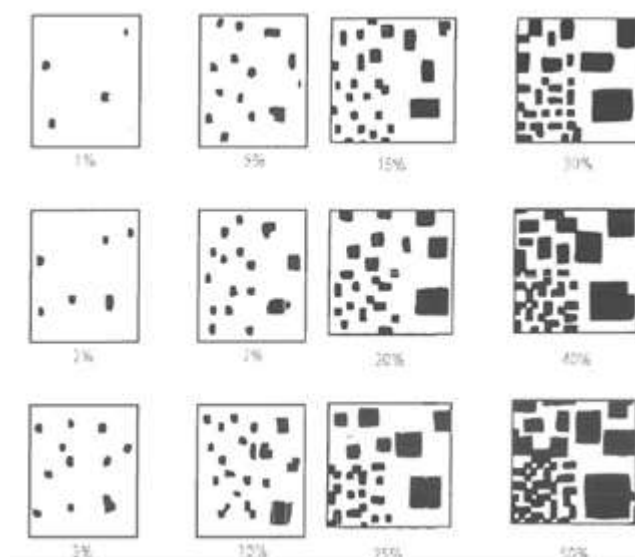


Figura 19- Cartas para a avaliação de superfícies cobertas/descobertas: para cada % de cobertura, em cima à esquerda distribuições regulares, em baixo à esquerda distribuições concentradas. Fonte: Gondron (1983), p. 163

4.3 Considerações em torno da utilização dos SIG na modelação da erosão

A utilização de modelos de erosão, integrados em softwares, foi impulsionada a partir dos anos 90. Atualmente, e com as constantes modificações e alterações sobre o conhecimento da erosão dos solos, os sistemas de informação geográfica (SIG) tornou-se numa mais-valia para a obtenção de resultados, com uma maior rapidez e dinâmica.

Os diversos modelos de erosão conhecidos têm sido trabalhados de forma a proporcionar a sua introdução e manipulação em sistemas de informação geográfica que possibilitam desta forma o armazenamento, consulta, manipulação, análise, modelação e visualização de informação georreferenciada. Os SIG são, portanto, uma ferramenta de apoio adequada à resolução de questões de âmbito territorial a escalas diversificadas, nas quais se engloba a erosão de solos (**Burrough,1986; Smith *et al.*, 1987; Cowen, 1988**).

4.4 Delimitações da Bacia Hidrográfica

Através do software Arcgis procedeu-se à delimitação da bacia hidrográfica em estudo, Para tal, o primeiro passo foi a criação do modelo digital de terreno (MDT), com as curvas de nível e os pontos cotados. Posteriormente, com recurso ao Spatial Analyst – Hydrology foi executada a ferramenta de Flow Direction obtendo assim a direção dos cursos de água. Utilizou-se ainda as ferramentas o Sink para remover possíveis vazios do Flow Direction e o Fill para remover imperfeições no MDT. Seguidamente criou-se o mapa de acumulação do fluxo (flow accumulation) e por último com o flow direction delimita-se a bacia, através da ferramenta Basin.

No final o layer que aparece está em formato raster e é necessário transformá-lo em vetorial e para isso utiliza-se a ferramenta do raster – convert to polygon.

4.5 Avaliações da Erosão hídrica do Solo com recurso aos Sistemas de Informação Geográfica

Para a estimativa da perda anual de solo por erosão hídrica recorreu-se a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) proposta por **Wischmeier e Smith (1965; 1978)**, sendo este a mais reconhecida e mais utilizada na erosão do solo (**Foster et al.,1985**). Este modelo empírico pretende estimar a erosão específica (E) (Figura 20), i.e., a perda

de solo por unidade de área e por unidade de tempo ($t \text{ ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$), através da seguinte equação:

$$A = R K L S C P$$

em que:

A - Perda de Solo ocorrendo em média anualmente em determinado local com as características representadas pelos fatores, expressa em peso de solo erodido por unidade de área de terreno;

R - fator Erosividade da Precipitação, expressa em unidades do Índice de Erosividade;

K - fator Erodibilidade do Solo, expresso em termos de Perda de Solo por unidade do fator R, ocorrendo em parcela de terreno de 9% de declive e de 22m de comprimento, sujeito a alqueive nú e mobilizações segundo o maior declive (parcela padrão);

LS - fator Topográfico (L - fator Comprimento da Encosta, S - fator Declive), expresso em termos da razão entre a perda de solo nas condições locais e em parcela de 22m de comprimento e 9% de declive;

C - fator Cultural, expresso como a razão entre a perda de solo nas condições locais e em parcela sujeita a alqueive nú;

P - fator Práticas Conservativas do solo, referindo-se à razão entre a perda de solo nas condições locais e em talhão mobilizado segundo o maior declive.

Contudo, torna-se necessário referir que a obtenção da Erosividade (R) e Erodibilidade (K) da equação passou pela adaptação dos valores já previamente estabelecidos por outros autores porque existe uma dificuldade na recolha dos dados necessários, acrescendo a quantidade de anos (mais de 20 anos de registo) (**Wischmeier, 1959**).

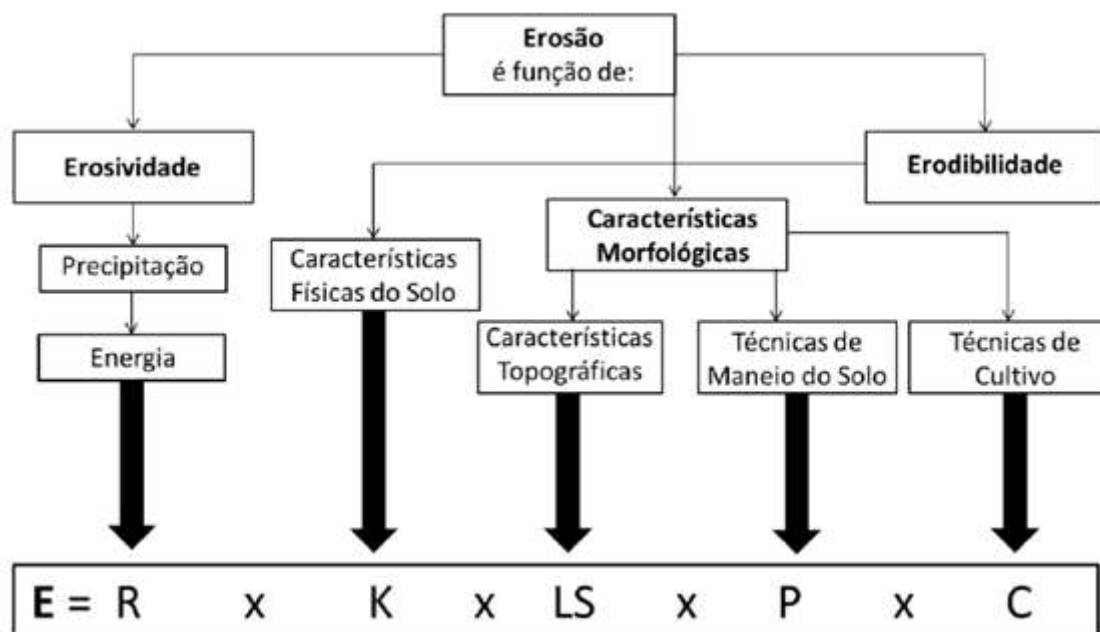


Figura 20- Fatores que afetam a erosão hídrica do solo. Adaptado de Ferreira, 2008.

4.5.1 Fator Erosividade da Precipitação – R

Como tal, e sendo a bacia hidrográfica de estudo tão pequena à escala regional, a variação em termos de precipitação não se pode alterar exageradamente. Aliás, segundo Figueiredo (1990) o fator de precipitação não é o mais importante condicionador da perda de solo. Os fatores preponderantes são o declive e o coberto vegetal do solo evidenciando a deficiência dos solos junto das áreas montanhosas. Atendendo ao trabalho de **Figueiredo e Gonçalves, 1990**, elaborado no âmbito da sociedade portuguesa da ciência do solo, percebe-se que a erosividade pode ser conseguida através do modelo de **Arnoldus (1980)**, pois este oferece valores satisfatórios comparados com a realidade. O modelo passa por modificar o índice de Fournier de modo a integrar a ação erosiva da precipitação ao longo dos anos, onde o resultado final se traduziu numa correlação com o fator R calculado para 177 estações diferentes. No entanto, a bacia hidrográfica não se encontra à mesma altitude da vila de Alfândega da Fé, pois a bacia tem como cota mais alta 412 m e, a vila, 550 m existindo assim diferença de 150 m.

Posto isto, podemos considerar o valor de $R = 655 \text{ MJ/ ha, mm/h}$ para a bacia hidrográfica. (Anexo 5).

4.5.2 Fator Erodibilidade do Solo – K

Em relação ao fator de K (erodibilidade de solo) adaptaram-se três metodologias diferentes, (i) a primeira passaria por estabelecer um valor normalizado, (ii) seria o K corrigido através da carta de pedregosidade, (iii) e a última a pedregosidade seria corrigida com os dados recolhidos no terreno.

Importa referir que a quantificação de K pode ser feita em talhões, mas a morosidade deste processo sempre se tornou uma limitação ao seu uso (**Hudson, 1981**). Tornou-se assim fundamental a obtenção de índices ou expressões relacionadas com a erodibilidade e propriedades do solo, onde a granulometria, % de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade são fatores mais preponderantes a analisar.

Contudo, o presente estudo para estimar o valor da erodibilidade, não utilizou os dados referentes à estrutura, permeabilidade e teor de elementos grosseiros, pois assumiu que todos os solos apresentam agregação granulosa fina, permeabilidade moderada e baixa percentagem de elementos grosseiros à superfície.

Sendo assim, para a primeira metodologia assumida e segundo o trabalho analisado assumiu-se o valor de $K = 0,0542$. Por sua vez, e para as ii e iii metodologias assumiu-se um fator de correção de K através do uso da seguinte fórmula.

$$K_{eg} = K_{tf} e^{-0,035 \%EG}$$

Posteriormente, e depois de aplicada a fórmula, o valor referente à segunda metodologia corresponde a $K = 0,013$ (com base na carta de pedregosidade que dá 40% de pedregosidade para Alfândega da Fé). Por último, o K corrigido com os valores recolhidos no terreno ao qual se assumiu o valor de 0,0104 para uma cobertura de pedregosidade de 47%.

No entanto convém referir que o primeiro valor assumido e os valores corrigidos para a pedregosidade diferem em grande número sendo que se assume para o mapa final o valor com os dados referidos no local, pois são os dados mais caracterizadores da realidade.

4.5.2 Fator Topográfico – LS

Por sua vez, o fator L (Figura 21) é calculado como:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^{0.5}$$

1. O primeiro passo consistiu na construção do Flow Lenght (Anexo 3), para isso e através da ferramenta flow lenght e com a variável flow direction como dado de entrada calculou-se o flow lenght upstream;
2. Depois da variável calculada, substituiu-se o λ pelo resultado do flow lenght e introduz-se no raster calculate.

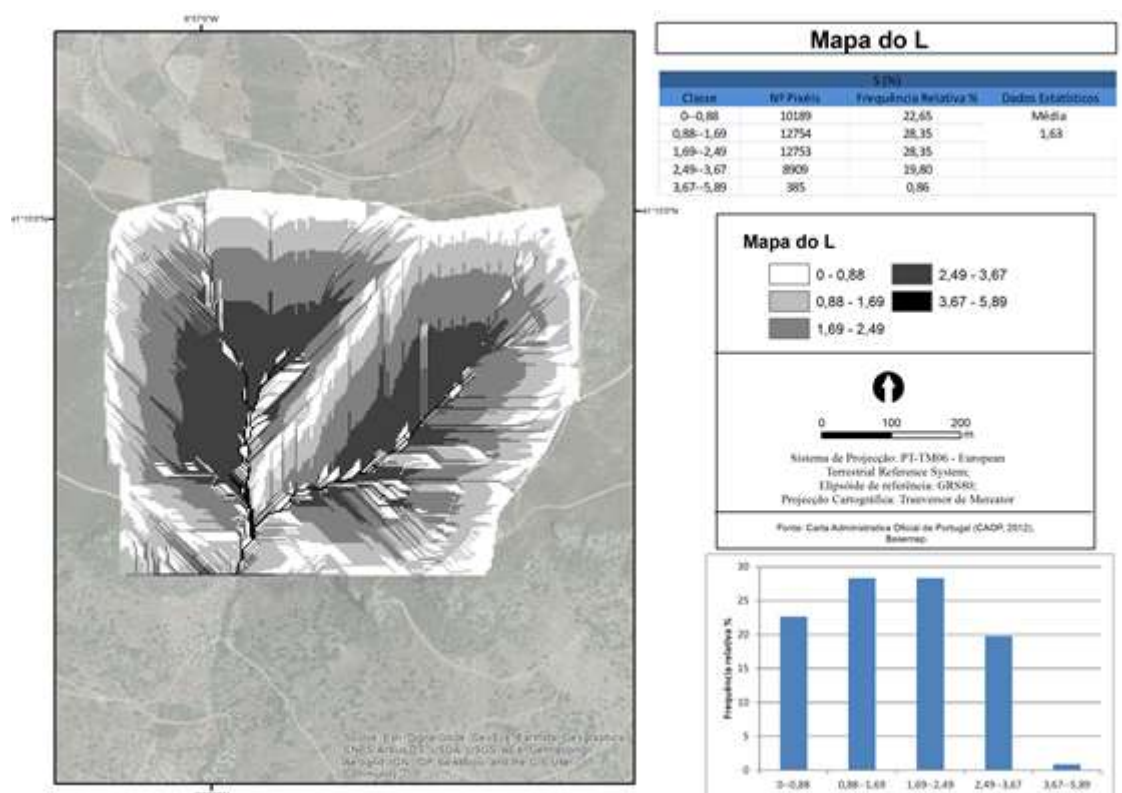


Figura 21- Fator L.

O Fator S (Figura 22) é calculado como:

$$S = 16,8 \sin -0,5$$

1. Com o MDT e com a ferramenta Slope criou-se um mapa de declives para a bacia hidrográfica em graus (Anexo 4);
2. Sendo o mapa de saída em radianos, através do raster calculate reconverteu-se o mapa em graus;
3. O último passo foi introduzir a fórmula no raster calculate e substituir o $\sin\theta$ pelo mapa de declives.

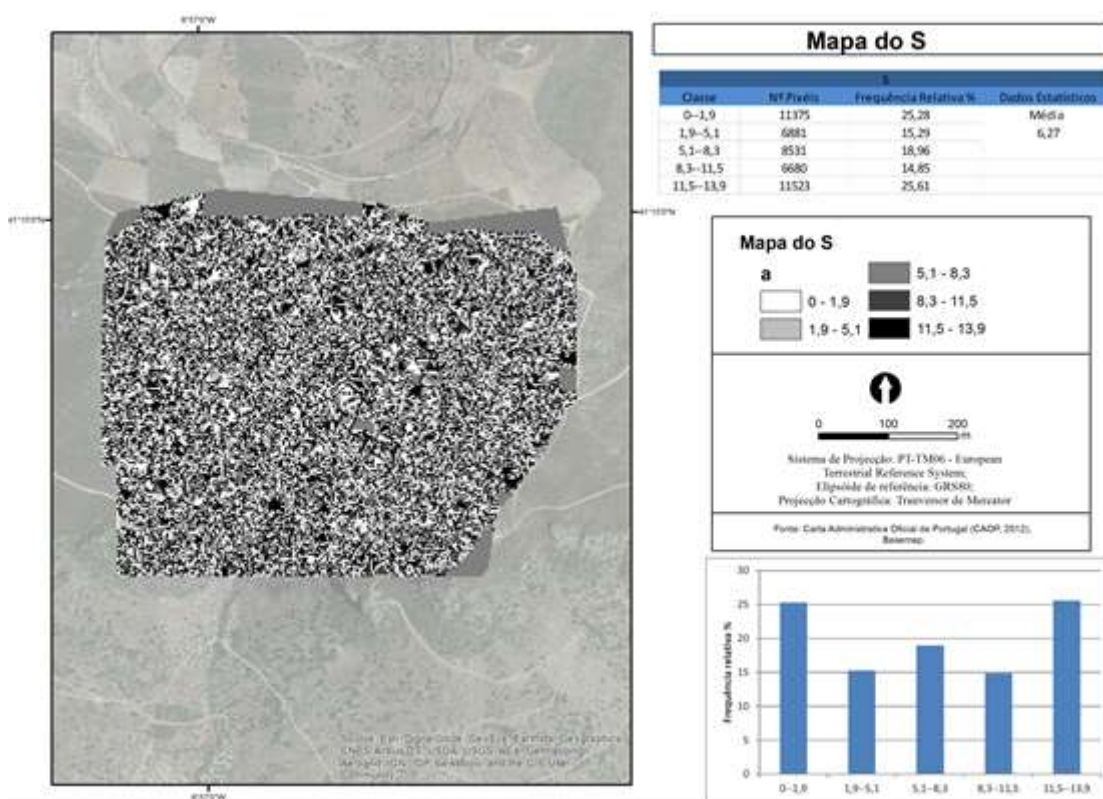


Figura 22- Fator S.

No final após a obtenção de cada mapa, procedeu-se à combinação do fator S com o L através da ferramenta raster calculate resultando o mapa LS.

4.5.3 Fator Cultural – C

Para o fator cultural foi necessário recorrer à ocupação do solo de 2007 organizada pelo nível cinco, o que conferia uma análise mais pormenorizada da bacia de estudo. Assim, e segundo os valores indicativos do fator C propostos por **Figueiredo (1999)**, conseguiu-se chegar a novos valores a aplicar, presentes no Quadro 4.

Quadro 4- Valores indicativos do fator C da USLE (Figueiredo, 1999)

Ocupação do Solo	Ponderação
Olival	0,1
Florestas de outros carvalhos	0,05
Matos densos	0,02
Florestas abertas de outros carvalhos	0,1
Novas Plantações	0,05

De forma a atribuir os pesos a cada classe recorreu-se a uma reconversão do mapa da **COS 2007** vetorial para raster, posteriormente e através do reclassify atribui-se a ponderação (Quadro 4). Contudo, e para atribuir pesos aos diferentes classes do solo em arcgis foi necessário recorrer a outro tipo de classificação porque ao tentar fazer o reclassify da cos a atribuição de pesos tinha de ser feito em número inteiro e não com casas decimais, sendo depois no final o mapa dividido por 100, de forma a corresponder com os valores apresentados na tabela.



Figura 23- Ocupação do solo – bacia hidrográfica

Depois dos pesos definidos foi efetuado o reclassify e assim chegar a variável de ponderação de C.

4.5.4 Fator Práticas Conservativas do solo – P

Como na bacia hidrográfica de estudo não existia qualquer tipo de prática conservativa de solo assumiu-se o valor 1 para toda a área.

4.6 Cenários Antes e Pós-incêndios

De forma a analisar os cenários antes e pós-incêndio ocorrido em Alfândega da Fé, e por sua vez afetando a bacia hidrográfica em estudo, procedeu-se à realização de três mapas distintos. O primeiro mapa referente à situação imediatamente a seguir ao incêndio (pós-incêndio) considerou se o mapa de erosão potencial, pois reflete uma completa ausência de vegetação na área, reflexo do incêndio. Por outro lado, o mapa relativo à situação antes do incêndio iria ser conseguido com a introdução da **cos 2007** definida acima. Por fim, iriam ser trabalhados os valores recolhidos no campo em relação a coberto vegetal dentro do quadrado de $1m^2$, ao qual o valor de “C” na fórmula iria ser acrescentado em %, assumindo-se desta forma o valor de coberto de 47% para ano e meio pós-incêndio. É de salientar que estes resultados finais tiveram como

principal base os dados recolhidos no campo, e assim foi utilizado o valor de K corrigido com o levantamento.

Por fim, os dados foram trabalhados no software arcgis e introduziu-se a fórmula de modo a proporcionar a obtenção dos layouts finais.

Capítulo V: Resultados e Discussão

5.1 Fator LS – fator topográfico

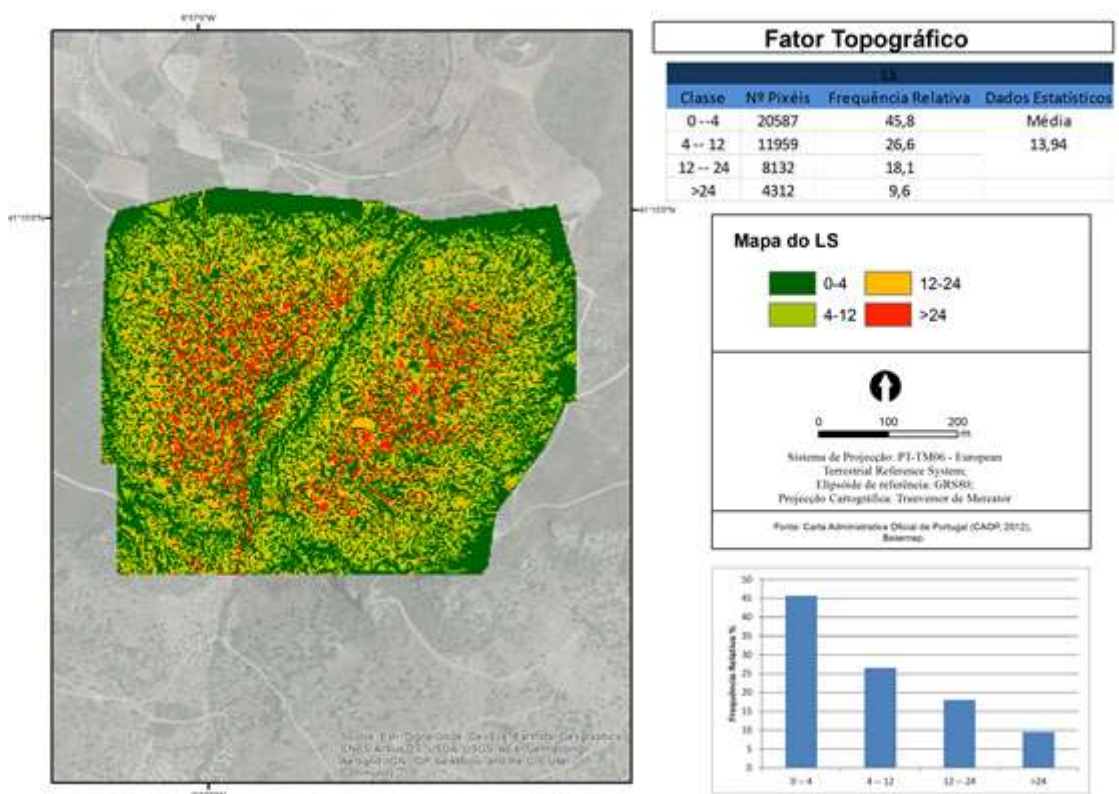


Figura 24- Mapa do fator LS.

O mapa LS (Figura 24) resultou da combinação das variáveis de L (Figura 21) e S (Figura 22) o qual foi submetido a uma reclassificação de forma a estabelecer classes categóricas, de forma a proporcionar uma melhor leitura visual da informação. Como informação complementar foi adicionada uma tabela referente a cada classe. Analisando o mapa, com o recurso da tabela e das cores, percebe-se facilmente que os valores mais elevados concentram-se junto dos dois cursos de água, fortemente demarcados, logo a maior perda de solo ocorre junto destas. Esta perda acontece numa encosta compreendida nos 767,74 metros e para um declive máximo de 43,87 graus e a classe que detêm maior número de pixéis é na classe de 0-4 e classe onde ocorre mais perda de solo é na classe assinalada a vermelho.

5.2 Mapas de Erosão Potencial

5.2.1 Erosão Potencial com k não corrigido

Analisando o mapa de erosão com o valor de K standardizado (Figura 25), pode-se verificar que a perda de solo está presente em todo o território cartografado, assinalado com as áreas vermelhas. Analisando os dados estatísticos percebe-se que a classe do >200 é onde detêm maior número de pixéis que reflete a maior perda de solo comparando com o exterior da bacia. Relativamente aos dados estatísticos vê-se que a média encontra-se em $476,74 \text{ ton.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

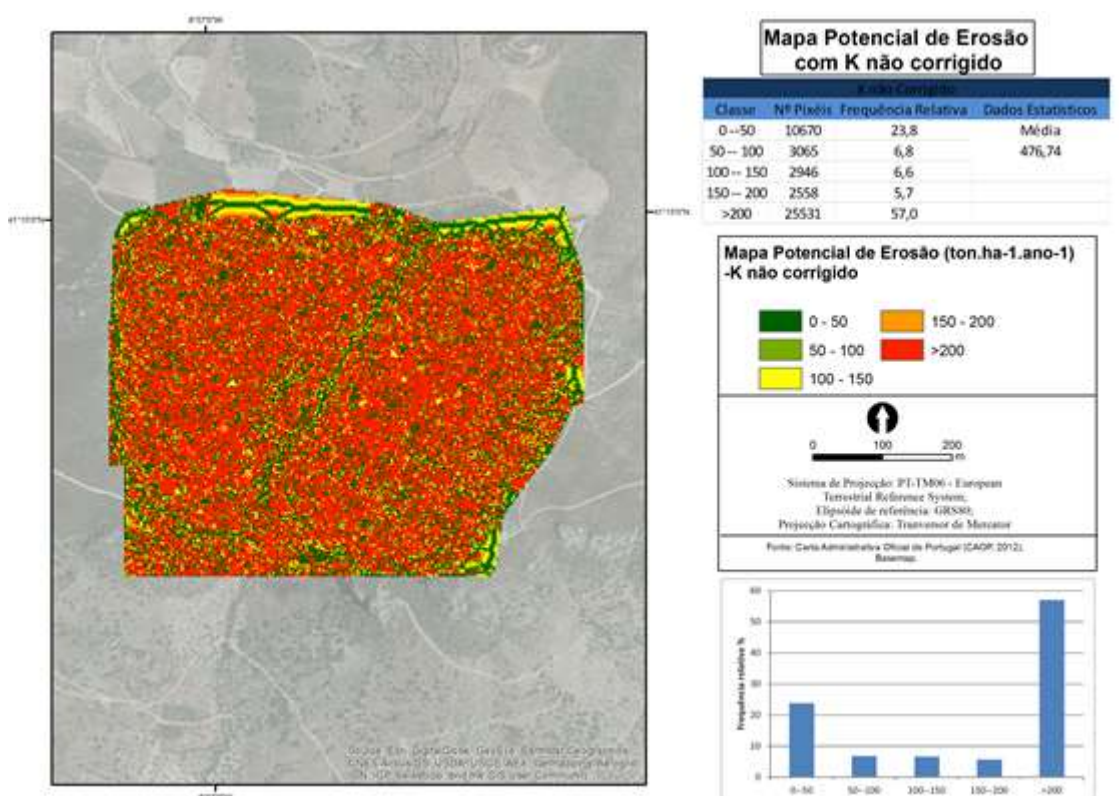


Figura 25- Mapa de erosão com K não corrigido.

5.2.2 Erosão Potencial com o K corrigido com base na Carta de Pedregosidade

O segundo mapa de erosão potencial (Figura 26), realizado com o valor corrigido pela carta de Pedregosidade, reflete um menor valor de perda de solo comparativamente com o primeiro mapa de K (Figura 25). Posto isto, verifica-se que o valor médio de perda de solo desceu mais de metade comparativamente com o primeiro mapa apresentado em cima. A média de perda de solo encontra-se nos $114,87 \text{ ton.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$.

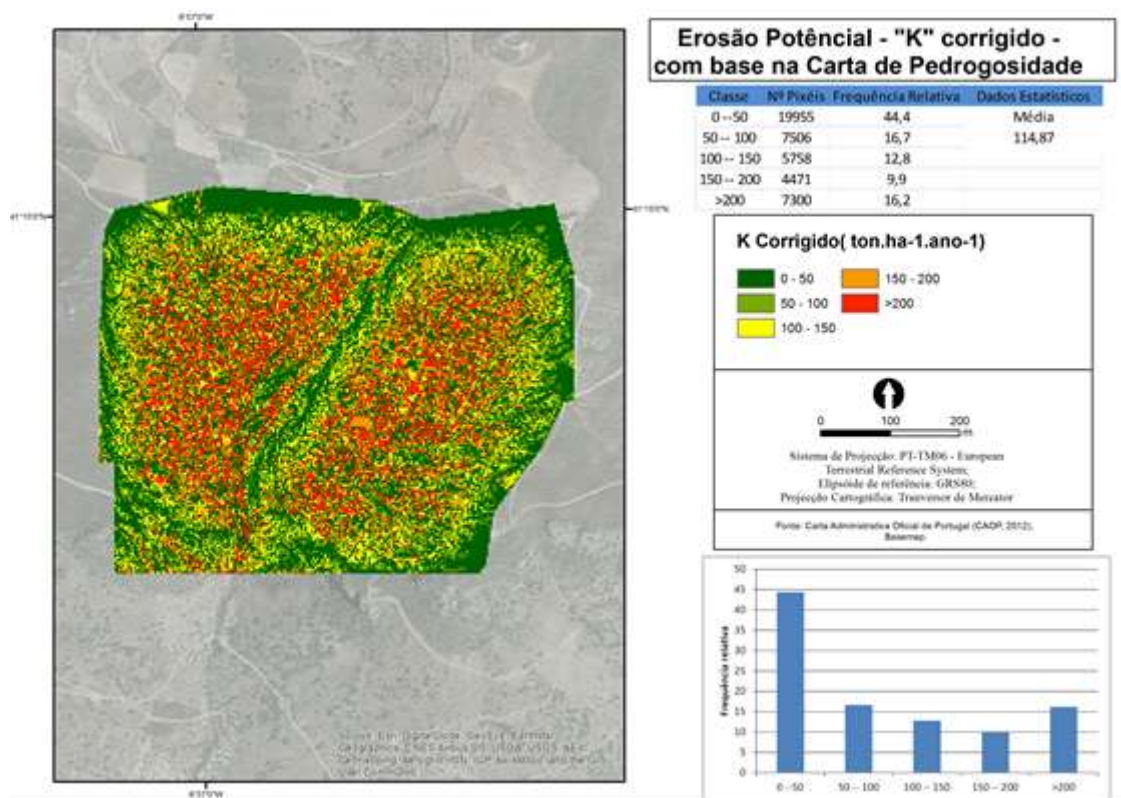


Figura 26- Mapa com k corrigido (carta de pedregosidade).

5.2.3 Erosão Potencial com os dados recolhidos no local

A erosão Potencial (Figura 27) corrigido com o levantamento efetuado no local reflete uma menor perda de solo $\text{ton.ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ encontrando-se o valor nos 551,26. No entanto, é de relevância salientar que a média voltou a descer em grande escala com o K corrigido com os valores de pedregosidade recolhidos, comparativamente com os anteriores mapas.

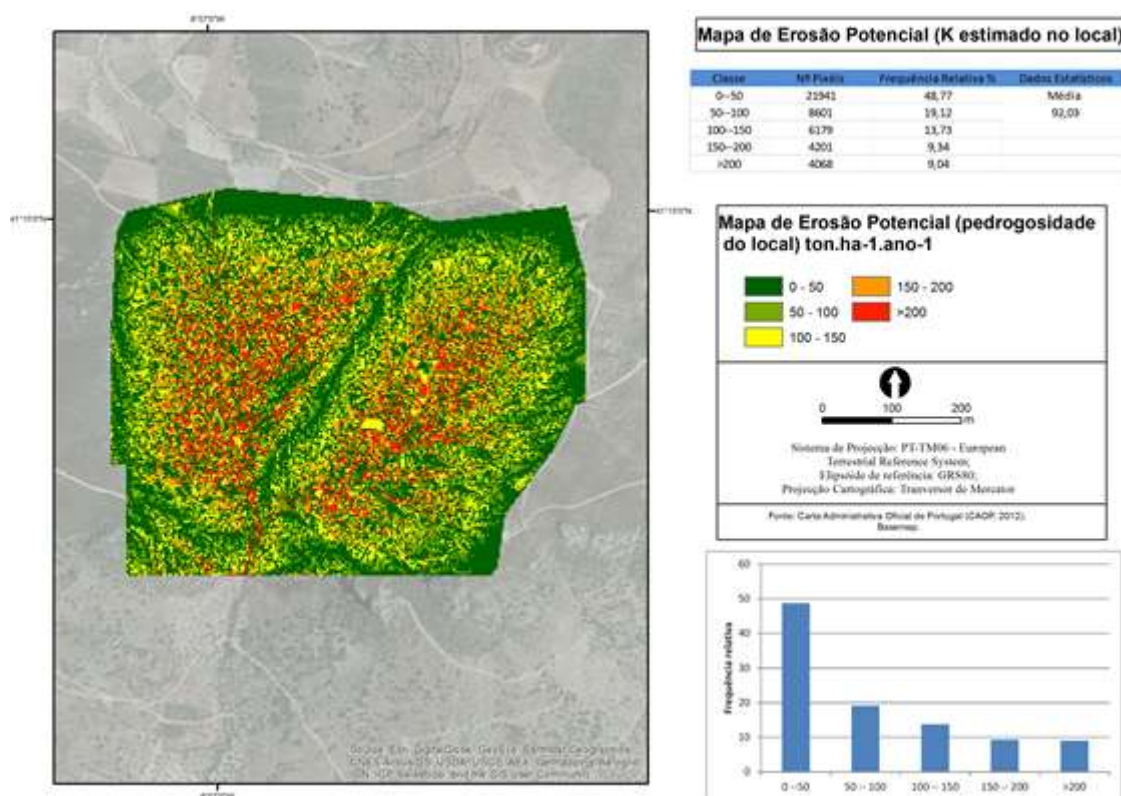


Figura 27- Erosão Potencial, com o valor K corrigido com os dados locais.

5.2.4 Erosão atual: cenários antes e pós-incêndio

Os mapas a seguir demonstram três cenários diferentes (i) o primeiro cenário representa a erosão presente no território antes de ter acontecido o incêndio, com o recurso à cos 2007; (ii) para o segundo cenário, caracterizador logo após o incêndio, adotando-se o mapa da erosão potencial (Figura 27), pois com a passagem do fogo, não existiria qualquer tipo de coberto no solo; (iii) e por último, o terceiro mapa representa já o solo em recuperação, com as diferentes medidas aplicadas, bem como, na sua própria regeneração natural.

Cenário Antes- incêndio

Comparando o mapa antes de ter acontecido o incêndio (Figura 27) com o pós-incêndio (Figura 28) percebe-se claramente a função do coberto vegetal na diminuição da erosão hídrica para a perda de solo, porque o mapa quase não apresenta pixels no intervalo mais alto > 10, como reflete a cor vermelha. Contudo, é de salientar que o maior nível de erosão acontece nas florestas abertas e outros carvalhos, localizando-se no canto inferior esquerdo do mapa.

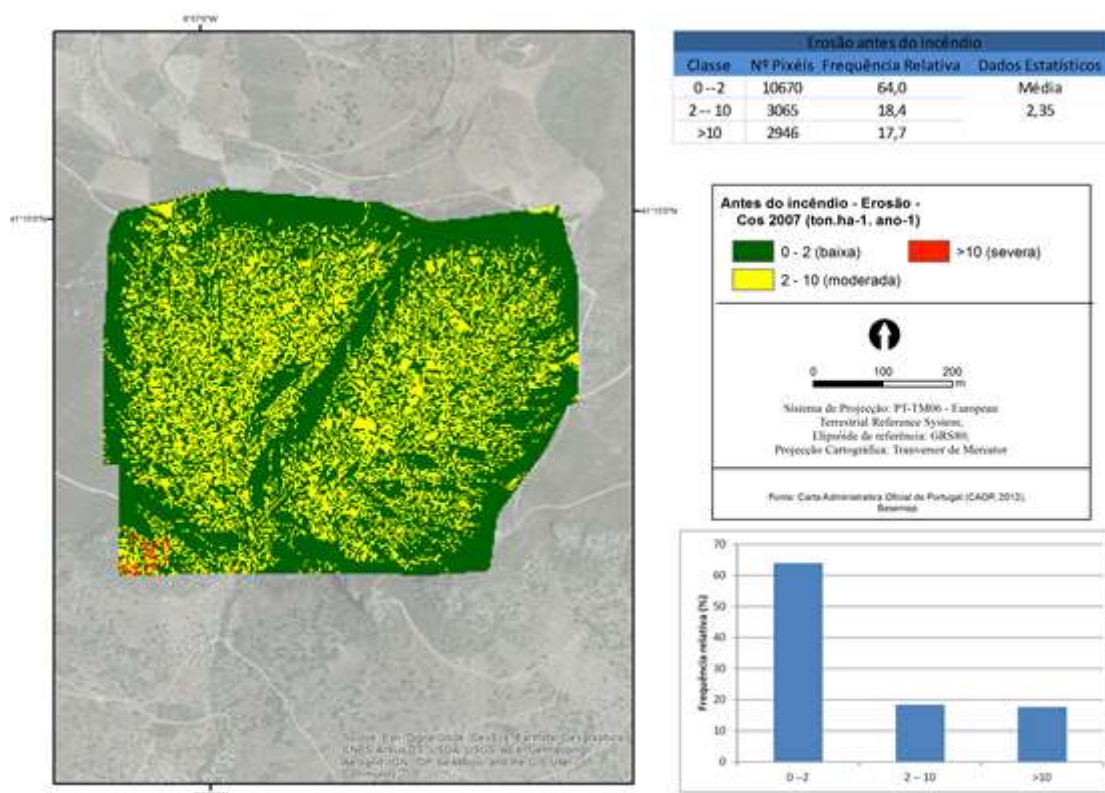


Figura 28- Erosão com os dados da cos 2007, antes do incêndio.

Pós-incêndio com base na recolha de campo

Através da recolha de campo criou-se um possível cenário de perda de solo na bacia hidrográfica. No entanto, é necessário salientar que com a sementeira e a rebentação natural o nível de perda de solo está a diminuir em grande escala. Analisando os dados estatísticos referentes ao mapa percebe-se que a média anda na ordem dos $17,92 \text{ ton.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Figura 29), valor que se considera, ainda e todavia, corresponder a uma perda de solo severa. Por outro lado, é de salientar que comparando com o mapa antes do incêndio, ainda está presente a classe muito severa, esta estando presente junto das linhas de água.

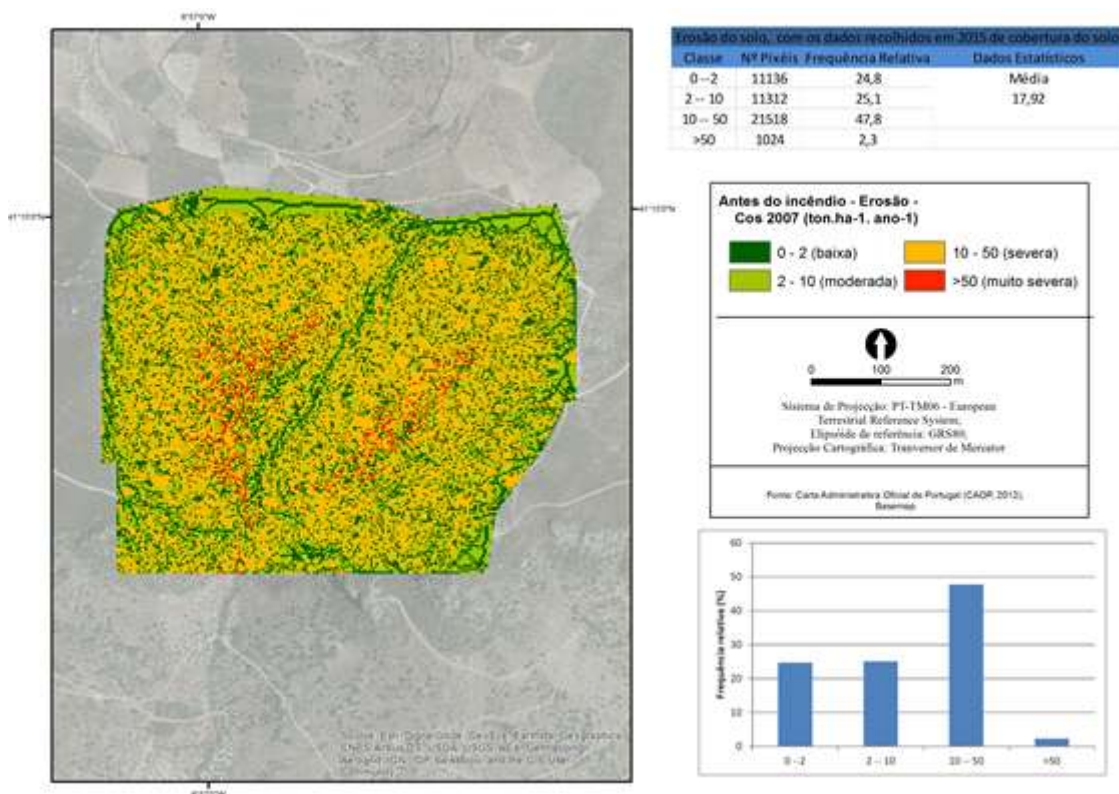


Figura 29- Erosão com os dados recolhidos em campo, pós- incêndio.

Posto isto, e recorrendo a análise do gráfico 1, percebe-se facilmente que o território foi fortemente afetado pelo fogo, ao qual aumentou muito a perda de solo anual estimada. Contudo, é necessário referir que o território em análise encontra-se em recuperação acentuado, conseguindo diminuir muito o valor, de 92 ton.ha⁻¹. ano⁻¹ para quase 18 ton.ha⁻¹. ano⁻¹.



Gráfico 1- Médias anuais de Perda de solo por ton.ha-1. ano-1.

Capítulo VI: Considerações Finais

Finda a sequência metodológica proposta para o desenvolvimento do objetivo, de identificar os setores mais suscetíveis à erosão hídrica nesta bacia hidrográfica elementar de Alfândega da Fé, torna-se possível constatar diferentes aspetos recolhidos.

O primeiro aspeto a merecer um grande realce é o fator topográfico (LS), pois este é o que emprega maior influência sobre o modelo final. Este demonstra a grande influência da morfologia do terreno, demonstrando a presença de socacos e as vertentes com maior comprimento e inclinação precisamente nas áreas onde o declive é mais acentuado. Outro aspeto a salientar é o mapa de erosão do solo com a introdução da cos2007. Pode-se ver claramente, que toda a bacia hidrográfica está perante uma erosão hídrica fraca comparativamente com a remoção do coberto vegetal, mas, no entanto aparece uma pequena área com valores mais altos, correspondente às áreas de florestas abertas e outros carvalhos porque nestes locais existe o fator humano, onde a mobilização de terrenos está presente, causando esta subida. Outro fator importante a refletir será a erosão perante as linhas de água. Em todos os mapas criados vê-se uma erosão hídrica bastante elevada junto das linhas de água, ao qual é necessário tomar medidas de contenção e assim diminuir esta suscetibilidade.

Assim, uma das principais conclusões a retirar deste modelo é que as áreas mais suscetíveis são as áreas onde os valores de fluxo superficial exercem maior influência, devido à concentração de sedimentos serem menores que a capacidade de transporte, resultando em áreas onde a desagregação de partículas é mais avultada.

Por fim, conclui-se, que as medidas de prevenção tomadas no local pelo projeto, estão a ter repercussões positivas porque o nível de perda de solo está a diminuir gradualmente (analisado após um ano e meio da ocorrência do incêndio), traduzindo-se numa maior valia para o território, no entanto, o atraso nas intervenções pós-incêndio, por razões de ordem burocrática, determinaram perdas de solo muito significativas, aspeto que é necessário contornar em futuras situações através de uma melhor organização, assim conseguindo mitigar o problema logo após o incêndio e não um ano e meio depois, como foi verificado na bacia.

Quanto ao modelo aplicado, pode-se dizer que permite quantificar perdas de solo real após os incêndios florestais, ao qual se traduz num elemento fundamental para a tomada

de decisões. Desta forma, este, pode ser utilizado na avaliação de impactos na degradação do solo e da eficácia das medidas a aplicar da eficácia das medidas a aplicar da eficácia das medidas a aplicar de forma a proporcionar uma melhor recuperação deste bem essencial.

Bibliografia

Agroconsultores e Coba (1991) Carta dos Solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. UTAD/ PDRITM, Vila Real.

Autoridade Nacional para Incêndios, (2005) V. I e II Relatório Final da Autoridade Nacional para Incêndios Florestais, Portugal.

Avaliação da Perigosidade de Incêndio – Zezêre e Verde 2007 (VI Congresso da Geografia Portuguesa Lisboa, 17-20 de Outubro de 2007).

Bull, L. J.; Kirkby, M. J. (Eds.) (2002) - Dryland Rivers: hydrology and geomorphology of semi-arid channels. John Wiley & Sons. 398p. Burrough, P. (1986) - Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Oxford University press, New York. pp. 193.

Câmara, G.; Medeiros, J. S. Mapas e suas representações computacionais. In Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na Agricultura. In: Assad, E. D.; Sano, E. E. (eds) Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura. Brasília: EMBRAPA, pp. 13-29. 1998.

Carter, J.R. (1988) – Digital representation of topographic surfaces. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11): 1577 – 1580.

Carter, M. & Foster, C. (2004). Prescribed burning and productivity in southern pine forests: a review. Em: *Forest Ecology and Management*, Vol. 191, Nº 1–3 pp. 93-109.

Catarino, F. (1992). A floresta em Portugal.

ESPARTEL, Lélis; LUDERITZ, João. **Caderneta de Campo**. 10ed. Globo. Rio de Janeiro, 1977.

Figueiredo, T. (2001). Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. Vila Real. Portugal pp.1.

Figueiredo, T. (2005). Uma Panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. Instituto Politécnico de Bragança – Série de Estudos Escola Superior Agrária nº 84, Bragança. Bragança. Portugal pp.16.

Gonçalves, J. L. M., 2002 – **Conservação do solo**. In: Gonçalves, J. L. M.; Stape, J. L. (Eds.) “Conservação e cultivo de solos para plantações florestais”. Piracicaba-SP, IPEF, 2002 pp. 47-129.

Hudson, N. (1981) Soil Conservation. Cornell University Press, Ithaca, New York, USA.

Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Branco, M. C., & Zêzere, J. L. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. ANPC, Lisboa.

Meneses, B. (2011). Erosão Hídrica do Solo. Caso de Estudo do Concelho de Tarouca. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. Portugal pp. 95.

Moreira, L., Rosa, L.J., Lourenço, J., Barroso, I., Pimenta, V., 1997. Parque Natural de Montesinho. Projeto Lobo. Relatório de Progressão 1996. Ministério do Ambiente e dos recursos Naturais. Instituto da Conservação da Natureza.

Ramalho Filho, A; Beek, K. L. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3ª ed. Rio de Janeiro. EMBRAPA, CNPS, 1995. pp.65.

Roxo, M. (1994) – A acção antrópica na degradação de solos. A Serra de Serpa e de Mértola. Tesis inédita de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Portugal pp. 251.

Soares, L. (2008) - A importância das formações superficiais no âmbito dos processos de erosão hídrica e movimentos de vertente no NW de Portugal. Dissertação apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto para a obtenção do grau de doutor na especialidade de Geografia no ramo de conhecimento em Geografia Física, pp. 887.

Tomás, P. (1997) - Modelos de previsão da erosão hídrica em solos agrícolas. Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, pp. 260.

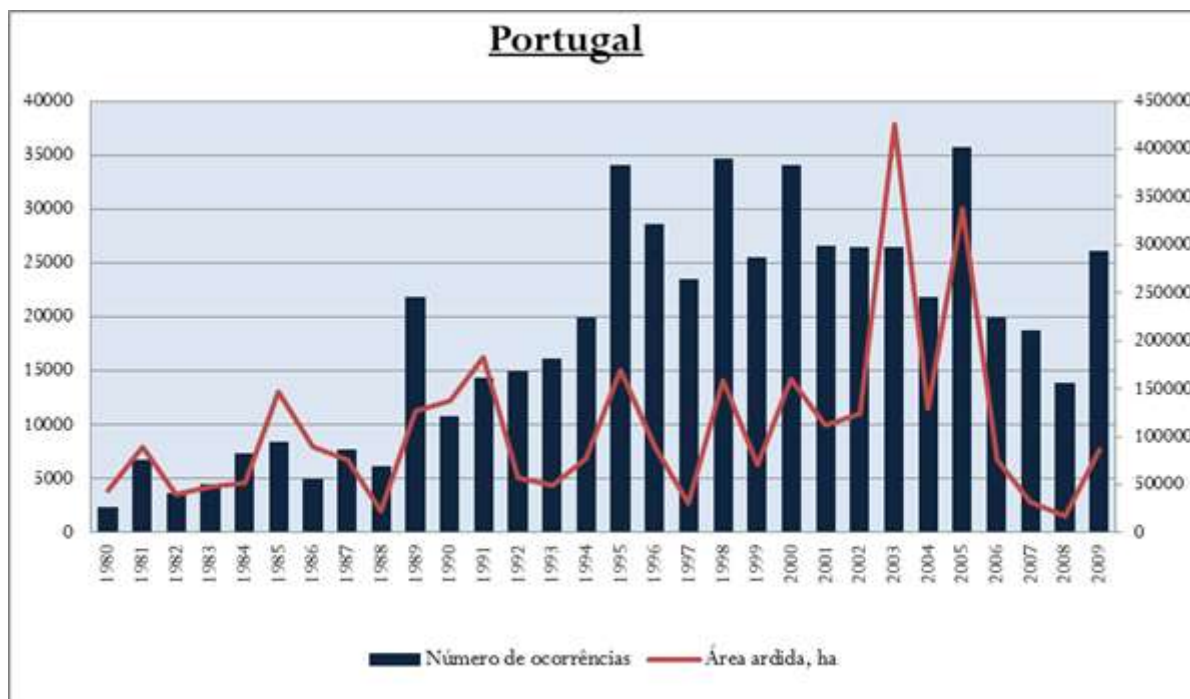
Wischmeier, W. & Smith, D. (1965). Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains: Guide for selection of practices for soil and water conservation. U.S. Department of Agriculture Handbook, 282, USDA, Washington.

Wischmeier, W. & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a Guide to conservation planning. Department of Agriculture Handbook, 537, USDA, Washington.

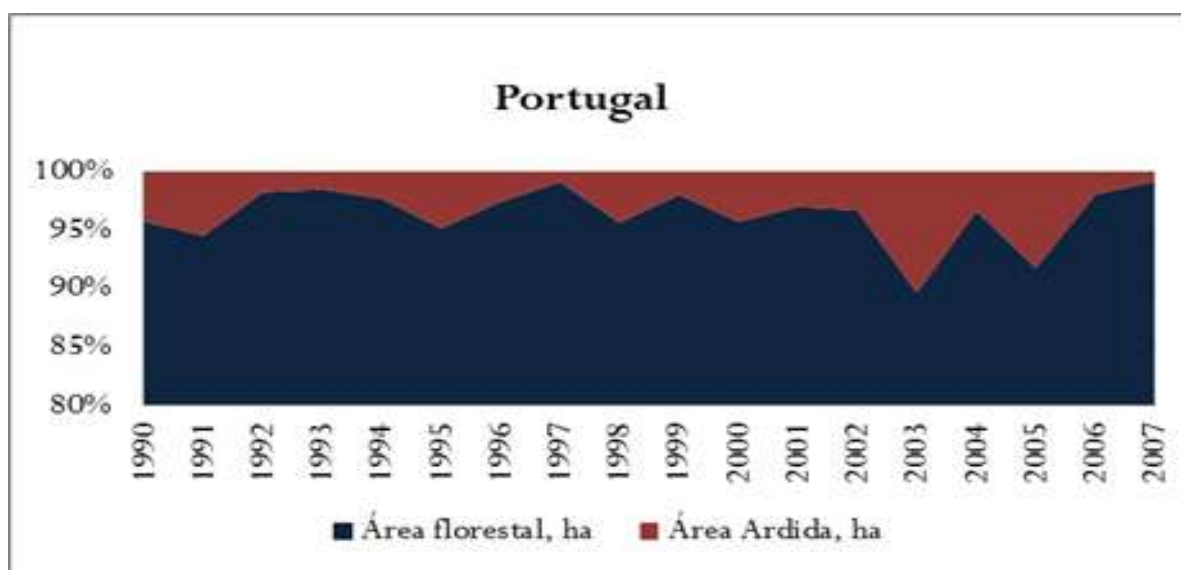
Wischmeier, W. H. & D. D. Smith (1978) Predicting Rainfall Erosion Losses – A guide to conservation planning. Agriculture Handbook Nº 537. United States Department of Agriculture, Washington D. C. pp.58.

Xanthakis, M; Pavlopoulos, k. – **Soil Erosion**. In: Evelpidou, N.; de Figueiredo, T (Eds.), “Soil Protection in sloping Mediterranean Agri-Environments: lectures and exercises. Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, 2009, pp. 45- 52.

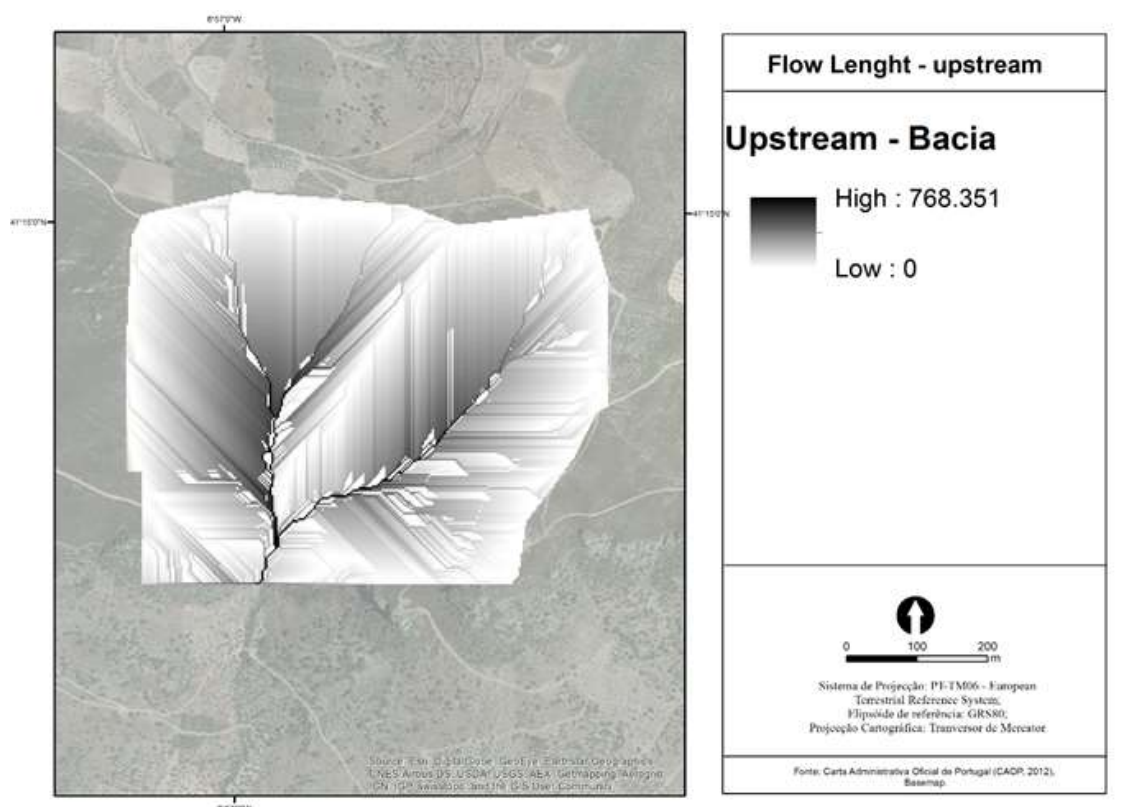
Anexos



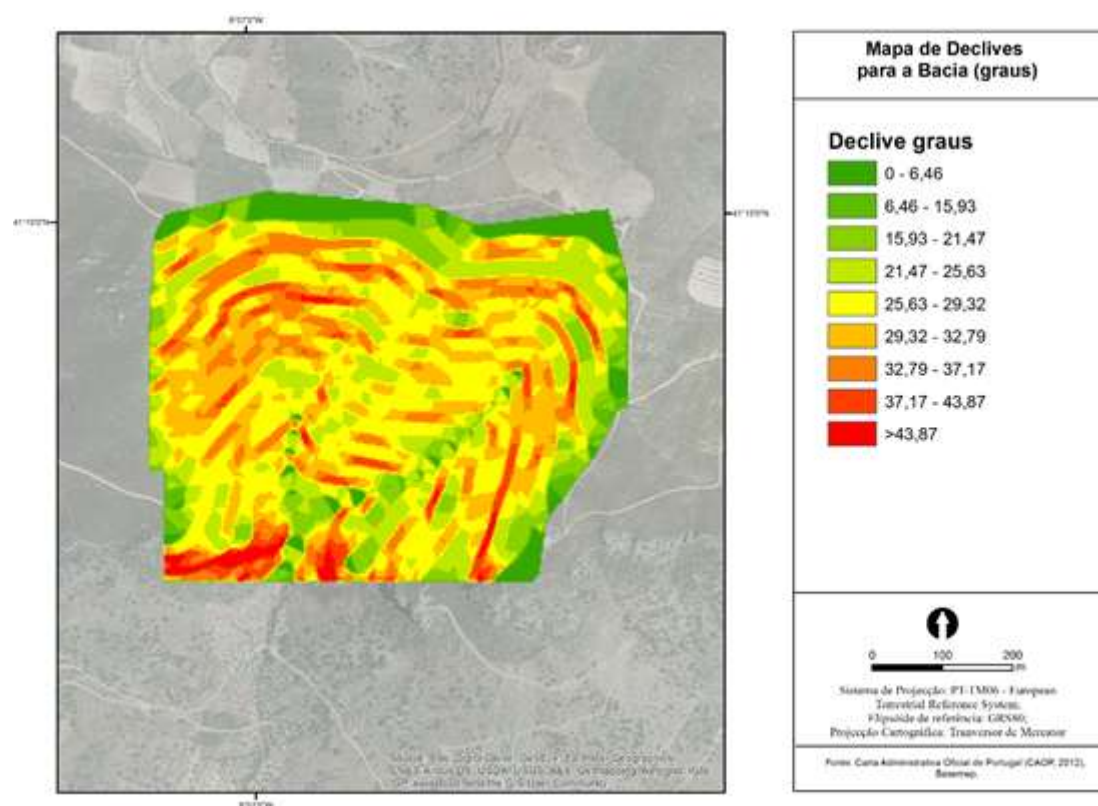
Anexo 1- Relação do nº de ocorrências com a área ardida, em ha, entre 1980 e 2009 em Portugal.



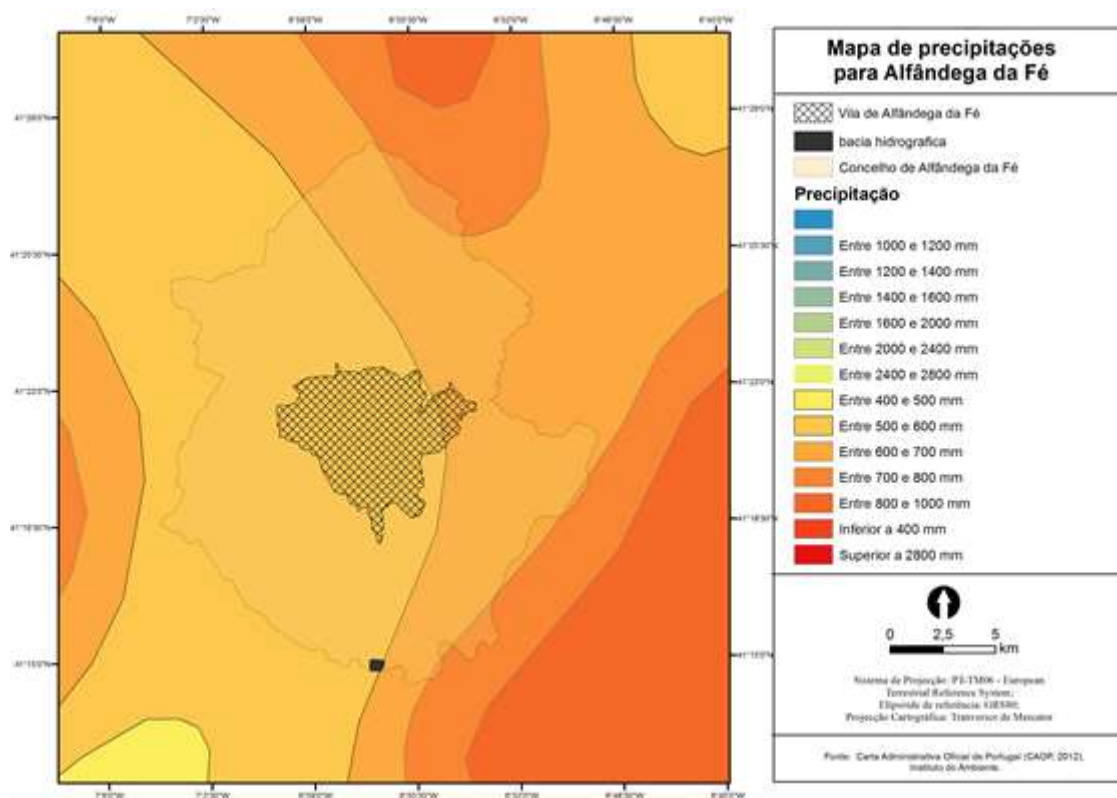
Anexo 2-Relação da área ardida com a área total de floresta, em ha, entre 1990 e 2007 em Portugal.
 Fonte: Forest Fire in Europe, 2009 - <http://www.worldbank.org>



Anexo 3-Mapa do Flow Length – upstream.



Anexo 4- Mapa de Declives para a bacia hidrográfica (graus).



Anexo 5- Mapa de precipitações para Alfândega da Fé.



Anexo 6-Medidor laser de distâncias.